Astr. P.
88
d

Digitized by Google

Astr. P.
88
d

Beiträge

zur

Dynamik des Himmels

in populärer Darstellung

von

Dr. **J. R. Mayer,**
Stadtarzt in Heilbronn.

HEILBRONN,
Verlag von Johann Ulrich Landherr.
1848.

Astr. P.
88 I

Mayer J. L.

Digitized by Google

Beiträge

zur

Dynamik des Himmels

in populärer Darstellung

von

Dr. J. R. Mayer,

Stadtarzt in Heilbronn.

HEILBRONN,

Verlag von Johann Ulrich Landherr.

1848.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Heilbronn, Maschinendruck der Schell'schen Officin.

I.

Einleitung.

Jeder leuchtende oder glühende Körper verliert Licht und Wärme in dem Masse als er davon ausstrahlt, und wird, wenn kein angemessener Wiederersatz statt findet, dunkel und kalt.

Das Licht besteht nemlich wie der Schall in Schwingungen, die sich von dem leuchtenden oder tönenden Körper wellenartig auf ein umgebendes Medium ausbreiten. Es ist nun vollkommen klar, dass ein Körper nur dann seiner Umgebung eine solche erzitternde Bewegung zu ertheilen vermag, wenn er sich selbst in einer ähnlichen Bewegung befindet; denn wo ein Körper im Zustande der Ruhe oder im Gleichgewichte mit seiner Umgebung ist, da ist eine Ursache zu wellenförmiger Bewegung nicht vorhanden. Soll eine Glocke oder eine Saite tönen, so muss durch eine äussere Gewalt die Glocke angeschlagen oder die Saite in Schwingung versetzt werden, und diese Gewalt ist die Ursache des Tones.

Würde die Saite sich bewegen, ohne irgend einen Widerstand zu erfahren, so könnte und müsste dieselbe die ihr mitgetheilte Schwingung für alle Zeiten beibehalten, ein Ton würde aber hier nicht entstehen, denn ein solcher besteht wesentlich in der *Fortpflanzung* der Bewegung, und in dem Masse, als die Saite ihre Schwingungen der widerstandleistenden Umgebung mittheilt, verliert sie nothwendig selbst an Be-

wegung und kehrt dadurch endlich in den Zustand der Ruhe zurück.

Man hat oft und passend die Sonne mit einer immerfort tönenden Glocke verglichen. Wodurch wird aber dieser Himmelskörper, der auf eine so grossartige und herrliche Weise die Räume des Weltalls mit seinen Strahlen erfüllt, wodurch wird er in ewig ungeschwächter Kraft und Jugend erhalten? Wodurch wird einer endlichen Erschöpfung, einem Zustande des Gleichgewichtes vorgebeugt, damit nicht Nacht und Todeskälte die Räume des Planetensystemes erfülle?

Der Enthüllung „des grossen Geheimnisses", wie *W. Herschel* die vorliegende Frage nennt, glaubten Manche dadurch näher kommen zu können, dass sie annahmen, durch die an und für sich völlig kalten Sonnenstrahlen werde nur der Wärme „stoff" in den Körpern, auf welche die Strahlen treffen, aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung versetzt; um diese kalten Strahlen auszusenden, müsse die Sonne nicht gerade ein erhitzter Körper seyn und es könne daher, der endlosen Lichtentwicklung ungeachtet, an ein eigentliches Erkalten der Sonne nicht gedacht werden.

Es ist klar, dass durch eine solche Erklärung nichts gewonnen wird, denn abgesehen von dem Hypothetischen eines bald ruhenden bald bewegten, oder eines bald kalten bald warmen Wärmestoffes u. d.gl. ist es eine genugsam festgestellte Thatsache, dass die Sonne kein kaltes, phosphorescirendes, sondern ein sehr intensiv-erwärmendes Licht ausstrahlt, und solche erwärmende Strahlen von einem kalten Körper herleiten zu wollen, widerspricht eben so sehr der Vernunft, als der Erfahrung.

Natürlich konnten auch diese und ähnliche Hypothesen den Anforderungen einer exacten Wissenschaft nicht genügen, und ich will desshalb versuchen, auf eine allgemein verständliche Weise den hier obwaltenden Zusammenhang von Ursache und Wirkung genügender, als es bis jezt geschehen, darzustellen, nicht ohne dabei die wohlwollende Nachsicht der Sachverstän-

digen in Anspruch zu nehmen, denen die Schwierigkeiten solcher Untersuchungen bekannt sind.

II.

Quellen der Wärme.

Ehe wir zu den speciellen Gegenständen dieser Abhandlung übergehen, müssen wir die Frage erörtern, auf welche Weise überhaupt Wärme (und Licht) erzeugt werden kann.

Die Quellen der Wärme sind sehr mannigfaltig. Wärme, die in ihren höheren Graden immer mit Licht gepaart ist, entsteht bei jeder Verbrennung, bei der Gährung, bei der Fäulniss, beim Löschen des gebrannten Kalkes, bei der Mischung von Vitriolöl mit Wasser oder mit Alkohol, bei der Zersetzung des Chlorstickstoffes, der Schiessbaumwolle u. dgl. Sie wird ferner hervorgebracht durch den elektrischen Funken und den sogenannten galvanischen Strom; sie zeigt sich bei der Reibung, beim Stosse, und erscheint als unzertrennlicher Begleiter des thierischen Lebensprocesses.

Als allgemeines Naturgesetz, von dem keine Ausnahme statt findet, gilt der Satz: dass zur Erzeugung von Wärme ein gewisser *Aufwand* erforderlich ist. Dieser Aufwand, so verschiedenartig er sonst seyn mag, lässt sich immer auf zwei Hauptkategorien zurückführen; es besteht derselbe nemlich entweder in einem chemischen Material oder in einer mechanischen Arbeit.

Wenn Materien, die eine grosse chemische Verwandtschaft zu einander besitzen, in getrenntem Zustande einander treffen und sich verbinden, so geht eine solche Vereinigung unter Entwicklung einer bedeutenden Menge von Wärme vor sich. Die Grösse dieser Wärmeentwicklung pflegt man so zu bestimmen, dass man angibt, wie viel Kilogramme Wasser durch den chemischen Process um einen Grad der hunderttheiligen

Scale erwärmt werden können; die Wärmemenge, durch welche 1 K° Wasser um 1° erhöht wird, nennt man Wärmeeinheit, *Calorie.*

Durch zahlreiche Versuche hat man z. B. gefunden, dass 1 K° trockene Holzkohle bei ihrer vollkommenen Verbindung mit Lebensluft 7200 Wärmeeinheiten liefert, wofür man auch kurz und ohne Berücksichtigung des Gewichtes der verbrennenden Materie sagt: die Holzkohle gibt 7200° Wärme.

Gute Steinkohlen geben 6000, vollkommen trocknes Holz 3300 bis 3900, der Schwefel 2700, das Wasserstoffgas aber 34600 Grad Wärme, u. s. f.

Wie die Erfahrung lehrt, so hängt *die Grösse* der Wirkung nur von der *Grösse* des Verbrauches, nicht aber von den Umständen ab, unter denen der Verbrauch vor sich geht. Man erhält nemlich ganz dieselbe Wärmemenge, die Verbrennung mag langsam oder rasch, in atmosphärischer Luft oder in reinem Sauerstoffgase u. s. f. erfolgen. Ebenso ist es für die Menge der producirten Wärme ganz gleichgiltig, ob ein Körper, z. B. ein Metall, in der Luft verbrennt und die unmittelbar entstandene Wärme gemessen wird, oder ob die Oxydation in einer galvanischen Säule vor sich geht und die Wärmeentwicklung an anderen Orten, als an dem der Verbrennung, z. B. am Leitungsdrahte erfolgt.

Das nemliche Grundgesetz gilt auch für die Erzeugung der Wärme auf mechanischem Wege. Es hängt die Menge der hervorgebrachten Wärme einzig von der Menge der verbrauchten mechanischen Arbeit und nicht von der Art und Weise der Verwendung dieser Arbeit ab. Wenn man also die Wärmemenge kennt, die durch irgend eine gegebene Arbeit geliefert wird, so lässt sich für jede andere Arbeit von bekannter Grösse die dazu gehörige Wärme leicht durch Rechnung finden, wobei es keinen Grössenunterschied bedingt, ob die Arbeit zum Zusammendrücken eines Gases, zu einem Stosse oder zur Reibung verwendet wird.

Jede mechanische Arbeit oder Leistung lässt sich der Grösse

nach durch ein Gewicht bestimmen, das durch diese Arbeit auf eine gewisse Höhe gehoben wird. Man erhält den mathematischen Ausdruck für die Grösse der Arbeit, d. h. man erhält ***das Mass*** dieser Arbeit, wenn man die Anzahl der gehobenen Gewichtseinheiten mit der Anzahl der Höheneinheiten multiplicirt.

Nimmt man als Gewichtseinheit das Kilogramm, als Höheneinheit ein Meter senkrechte Höhe, so betrachtet man die Erhebung von einem Kilogramm-Gewichte auf ein Meter Höhe als ***Einheit der mechanischen Leistung.*** Dieses Arbeitsmass nennt man Kilogrammeter und bezeichnet dasselbe mit Km.

Ebenso gut lässt sich aber auch die Grösse einer Leistung durch ein Gewicht und durch ***die Geschwindigkeit*** bestimmen, die dem ursprünglich als ruhend angenommenen Gewichte ertheilt wird. Es wird dann die Arbeit gemessen durch das Product aus der Anzahl der Gewichtseinheiten in die ***Quadratzahl*** der Geschwindigkeitseinheiten. Da indessen die erste Bestimmungsweise manche Bequemlichkeiten vor der zweiten voraus hat, so pflegt man durchgängig sich der ersteren zu bedienen, wobei übrigens in jedem Falle die Reduction nach bekannten einfachen Gesetzen leicht vorgenommen werden kann.

Das Product aus der Zahl der Gewichtseinheiten in die der Höheneinheiten, oder wie man kürzer zu sagen pflegt, das Product aus der Masse in die Höhe, (ausgedrückt durch eine Anzahl oder durch einen Bruchtheil von Kilogrammetern) ebenso wie das Product aus der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit, wird „lebendige Kraft der Bewegung", „mechanischer Effect", „dynamischer Effect" „mechanische Arbeit", „Leistung", „*quantité de travail*" u. s. w. genannt.

Die zur Erwärmung von 1 K° Wasser um 1° C. erforderliche Arbeit wird auf experimentalem Wege ermittelt; sie ist = 367 Km.; mithin ist 1 Km. = 0,00273 Wärmeeinheiten *.

* Wie man zu diesem wichtigen Resultate gelangt, habe ich an einem anderen Orte (die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel, Heilbr. 1845) dargelegt.

Durch Herabfallen von einer Höhe = 367^m erhält eine Masse die Endgeschwindigkeit = 84^m,8 in 1 Sek.; mithin entwickelt eine Masse, die sich mit dieser Geschwindigkeit bewegt, wenn sie ihre Bewegung durch Stoss, Reibung u. dgl. verliert, 1° Wärme. Wird die Geschwindigkeit verdoppelt, oder verdreifacht, so erhält man 4° oder 9° Wärme u. s. f. Allgemein also, wenn die Geschwindigkeit c Meter beträgt, so ist die dazu gehörige Wärmeentwicklung

$$= 0^0,000139 \times c^2.$$

III.

Von dem Maasse der Sonnenwärme.

Das Aktinometer ist ein von dem jüngeren ***Herschel*** erfundenes Werkzeug, um die Wirkung der Sonnenstrahlen der Grösse nach zu bestimmen. Dieses Instrument ist im wesentlichen ein Thermometer mit grossem cylindrischem Gefässe, in welchem eine intensiv-blaue Flüssigkeit sich befindet, die zum Auffangen der Sonnenstrahlen dient und durch ihre Ausdehnung die hervorgebrachte Erwärmung an einer graduirten Scale angibt.

Nach den mit diesem Instrumente angestellten Versuchen berechnet ***Herschel*** die erwärmende Kraft der Sonne so gross, dass durch diese Wärme auf der Erdoberfläche jährlich eine 29,2 Meter dicke Eisschichte geschmolzen werden könnte.

Durch sehr sorgfältige Experimente, welche in neuerer Zeit ***Pouillet*** mit einem von ihm selbst zu diesem Zwecke erfundenen Instrumente, dem Linsen-Pyrheliometer, angestellt hat, findet dieser grosse Physiker, dass durchschnittlich jedes Quadrat-Centimeter Erdoberfläche in einer Minute so viel Wärme von der Sonne empfängt, dass durch dieselbe 1 Grm. Wasser um 0°,4408 erwärmt werden kann. Von dieser Wärmemenge gelangt jedoch nicht viel über die Hälfte auf die

feste Erdoberfläche, da stets ein beträchtlicher Theil davon durch die Atmosphäre absorbirt wird.

Die Eisschichte, welche nach dieser Berechnung ***Pouillet's*** durch die Sonne in einem Jahre auf der Erde geschmolzen werden könnte, hat eine Dicke von 30.89 Meter.

Nach ***Pouillet's*** Angabe, an welche wir uns hinfort halten wollen, erhält also ein Quadrat-Meter Erdoberfläche im Durchschnitte per Minute 4,408 Wärmeeinheiten. Da aber die ganze Erdoberfläche 9 260 500 Quadratmeilen — die geogr. Meile zu 7420^{m} gerechnet — enthält, so bekommt die Erde in jeder Minute 2247 Billionen Wärmeeinheiten von der Sonne.

Nennen wir, um kleinere Zahlen zu bekommen, die Wärmemenge, durch welche eine Kubik-Meile Wasser um 1° erhöht wird, kurzweg eine Wärme-Kubikmeile, so wird, da eine Kubikmeile Wasser 408,54 Billionen Kilogramme wiegt, eine Wärme-Kubikmeile also = 408,54 Billionen Wärmeeinheiten zu setzen ist, der von den Sonnenstrahlen auf die Erde in einer Minute ausgeübte Effect durch 5,5 Wärme-Kubikmeilen ausgedrückt.

Denkt man sich um die Sonne eine Hohlkugel gespannt, deren Halbmesser gleich ist der mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, oder = 20589000 geogr. Meilen, so ist die Oberfläche dieser Kugel = 5326 Billionen Quadrat-Meilen. Zu diesem Raume verhält sich die Durchschnittsfläche der Erdkugel, oder die Basis des auf die Erde fallenden Lichtkegels, wie $\frac{9260500}{4}$: 5326 Billionen, oder wie 1 : 2300 Millionen. Dieses Verhältniss drückt den Bruchtheil aus, den die Erde von der Wärme erhält, die von der Sonne im Ganzen ausgesendet wird. Hiernach beläuft sich der ganze strahlende Effect der Sonne per Minute auf 12650 Millionen Wärme-Kubikmeilen.

Bei dieser erstaunlichen Ausstrahlung müsste ein Körper, auch von der Grösse unserer Sonnenkugel, in Bälde sich abkühlen, wenn nicht ein angemessener Wiederersatz statt fände.

Wird nemlich die Wärme-Capacität der Sonnenmasse, dem Volumen nach gerechnet, gleich der des Wassers, das unter allen bekannten Materien die grösste Wärme-Capacität besitzt, angenommen, und denkt man sich zugleich den Wärmeverlust, den die Sonne durch Strahlung erleidet, auf ihre ganze Masse gleichförmig vertheilt, so ergibt sich für dieselbe eine jährliche Abkühlung = 1°,8, wonach die Sonne in der geschichtlichen Zeit von 5000 Jahren eine Temperaturabnahme von 9000° erlitten haben müsste.

Uebrigens ist an eine gleichförmige Durchkühlung der ganzen ungeheuren Masse natürlich nicht zu denken; vielmehr müsste die Sonne, wenn ihre Ausstrahlung nur auf Kosten eines einmal gegebenen Vorrathes von Wärme oder von strahlender Kraft erfolgen sollte, offenbar in kurzer Frist sich mit einer erkalteten Kruste überziehen, womit die Strahlung ein Ende hätte. Die durch eine ungezählte Reihe von Jahrtausenden fortdauernde Thätigkeit der Sonne lässt also mit mathematischer Gewissheit auf einen dem grossartigen Verbrauche entsprechenden Wiederersatz schliessen.

Liegt dieser Wiederersatz in einem chemischen Processe? Nehmen wir, um dieser Vermuthung so viel nur möglich einzuräumen, die ganze Sonnenmasse für einen Klumpen Steinkohlen, wovon jedes Kilogramm 6000 Wärmeeinheiten durch Verbrennung liefert, so wäre die Sonne nicht weiter als 46 Jahrhunderte lang im Stande durch ihren Brand den genannten Wärmeaufwand zu bestreiten, — des zur Verbrennung nöthigen Sauerstoffes und noch manches entgegenstehenden Umstandes nicht zu gedenken.

Es wurde die Vermuthung ausgesprochen, die Axendrehung der Sonne könnte das ursächliche Moment von ihrem Strahlen seyn. Bei näherer Prüfung zeigt sich aber auch diese Hypothese ganz unhaltbar.

Einen raschen Umschwung für sich allein, ohne Reibung, ohne Widerstand, kann man sich nicht als die Ursache einer Licht- und Wärmeentwicklung denken, zumal da die Sonne

sich keineswegs durch ihre Umdrehungsgeschwindigkeit vor den übrigen Körpern des Planetensystems auszeichnet. Die Sonne bedarf nemlich zu einer Umdrehung eine Zeit von etwa 25 Tagen; da nun der Sonnendurchmesser nahe 112 mal grösser ist, als der Erddurchmesser, so folgt daraus, dass ein Punkt des Sonnenäquators nur etwas über viermal schneller rotirt, als ein Punkt des Erdäquators. Der grösste Planet des Sonnensystemes, dessen Durchmesser circa $^1/_{10}$ von dem der Sonne beträgt, dreht sich in weniger als 10 Stunden um seine Axe; ein Punkt seines Aequators rotirt also ungefähr sechsmal schneller, als ein Punkt des Sonnenäquators. Der äussere Ring des Saturns übertrifft den Sonnenäquator in seiner Rotations-Geschwindigkeit um mehr als das zehnfache. Nichts destoweniger wird aber weder an der Erde, noch am Jupiter, noch am Saturnusringe eine Licht- und Wärmeerzeugung wahrgenommen.

Inzwischen könnte man sich denken, dass auf der Sonne in Folge der Rotation eine Reibung statt fände, die auf anderen Himmelskörpern fehlt, wodurch dann allerdings eine grossartige Wärmeerzeugung hervorgebracht werden könnte. Zu einer Reibung sind aber allemal mindestens zwei Körper erforderlich, die in unmittelbarer Berührung mit einander stehen und mit verschiedenen Geschwindigkeiten oder in verschiedenen Richtungen sich bewegen. Dabei liegt in der Reibung das Bestreben zur Herstellung einer gleichartigen Bewegung und wenn diese eingetreten ist, hört die Action auf. Wenn nun die Sonne der *eine* bewegte Körper ist, welches ist dann der andere, und welche Gewalt hält diesen fest, damit er sich nicht in die Axendrehung der Sonne ergibt?

Wollte man sich aber auch über diese Schwierigkeiten hinwegsetzen, so stände einer solchen Hypothese noch ein weiteres und grösseres Hinderniss entgegen. Aus der bekannten Masse und dem Volumen der Sonne lässt sich die Grösse der lebendigen Kraft, welche die Sonne vermöge ihrer Umdrehung besitzt, berechnen; sie ist bei einer 25tägigen Rotationszeit

(und unter der Voraussetzung einer gleichförmigen Dichtigkeit, also höchstens) = 182 300 Quintillionen Kilogrammeter. Da nun für eine Wärmeeinheit 367 Kilogrammeter verbraucht werden müssen, so geht aus dem bisherigen hervor, dass der ganze Rotations-Effect der Sonne, wenn durch ihn der Wärmeverbrauch gedeckt werden sollte, in hundert drei und achtzig Jahren verzehrt seyn müsste.

IV.

Die Entstehung der Sonnenwärme in der Organisation des Planetensystemes begründet.

Der Raum unseres Sonnensystemes ist mit einer grossen Zahl ponderabler Objecte bevölkert, die dem *Newton*'schen Gravitationsgesetze gemäss sich dem Schwerpunkte der Sonne zu nähern streben und bei ihrer Annäherung an denselben mehr und mehr in Bewegung gerathen.

Eine im Anziehungsbereiche der Sonne befindliche, anfänglich ruhende Masse wird der Anziehung folgend in Bewegung kommen und wenn nicht noch anderweitige Einflüsse statt finden, in geradem Laufe auf die Sonne hinabstürzen. In der Wirklichkeit kann aber eine solche geradlinige Bahn kaum je vorkommen, wie man sich leicht durch ein Experiment versinnlichen mag.

Wird nemlich ein Gewicht an einem Faden so aufgehangen, dass es nur in einem einzigen Punkte den Boden berühren kann, und wird dieses Gewicht auf einer gewissen Höhe bei angespanntem Faden seiner Schwere überlassen, so sieht man beinahe ohne Ausnahme, dass dasselbe in seinem schiefen Falle jenen Punkt, dem es vermöge der Anziehung der Erde zustrebt, nicht wirklich erreicht, sondern vielmehr längere Zeit um denselben in einer krummen Bahn herumläuft.

Der Grund dieser Erscheinung liegt einfach darin, dass

die geringste Ablenkung von dem kürzesten Wege, z. B. der Widerstand der Luft gegen eine nicht vollkommen gleichförmige Oberfläche u. s. w., jenes Zusammentreffen hindern kann, und dass eine einmal vorhandene Ablenkung, solange das Gewicht in Bewegung bleibt, sich fort und fort erhält.

Inzwischen ist ein Zusammentreffen immerhin möglich; die Wahrscheinlichkeit dazu wird aber um so geringer seyn, je grösser die (lothrechte) Fallhöhe, je länger der Faden und je kleiner die Berührungsfläche ist.

Aehnliche Gesetze gelten bei den Bewegungen der Körper im Raume des Sonnensystemes. Die Fallhöhe ist hier die ursprüngliche Entfernung von der Sonne, in welcher ein Körper seine Bewegung beginnt, die Länge des Fadens stellt die in die Entfernung abnehmende Anziehung der Sonne dar und die Berührungsfläche ist die Durchschnittsfläche der Sonnenkugel. Wenn nun eine kosmische Masse an der physischen Grenze der Anziehungssphäre unserer Sonne ihren Fall gegen diesen Himmelskörper beginnt, so ist sie auf ihrer unermesslichen Bahnstrecke bei der anfänglich äusserst schwachen Anziehung der Sonne viele Jahrhunderte lang zuerst dem störenden Einflusse der nächsten Fixsterne und später dem der planetarischen Körper des Sonnensystemes ausgesetzt, und es liegt somit eine geradlinige Bahn dieser Masse, oder ein senkrechtes Herabstürzen auf die Sonne, ausser dem Bereiche der Möglichkeit. Hiermit stimmt denn auch die Beobachtung von den krummlinigen geschlossenen Bahnen aller bekannten planetarischen Massen überein.

Kehren wir zu dem Beispiele des an einem Faden schwingenden Gewichtes zurück, so bemerken wir, dass dasselbe fortwährend Bahnen um den Anziehungspunkt beschreibt, deren Durchmesser sich nahezu gleich bleiben. Bei anhaltender Beobachtung finden wir aber, dass dieser Durchmesser allmählig abnimmt, dass somit das Gewicht der Berührungsstelle sich beständig nähert und zuletzt unfehlbar mit derselben zusammenfällt, welch' letzteres nothwendig dann eintreten muss, wenn der Bahndurchmesser den Durchmesser der Berührungs-

fläche an Grösse nicht mehr übertrifft. Diese endliche Berührung ist also keineswegs ein zufälliges oder gar unwahrscheinliches, sondern sie ist vielmehr ein nothwendiges Ereigniss, herbeigeführt durch die Hindernisse, die die schwingende Masse fortwährend auf ihrer Bahn durch Reibung und Luftwiderstand erfährt. Gelänge es aber alle Hindernisse vollkommen zu beseitigen, dann würde sich allerdings die Masse in immer gleichen Schwingungen behaupten.

Das gleiche Gesetz gilt wiederum auch für die Himmelskörper. Die Bewegung derselben in einer absoluten Leere bedingt einen gleichförmigen Gang, wie den eines mathematischen Pendels; ein im Raume verbreitetes, Widerstand-leistendes Medium dagegen nöthigt die planetarischen Körper in immer kürzeren Bahnen um die Sonne zu laufen und endlich bleibend mit ihr sich zu vereinigen.

Einen solchen Widerstand angenommen, so haben diese wandernden Himmelskörper in der Peripherie des Sonnensystemes ihre Wiege, im Centrum ihr Grab, und wie lange auch die Dauer und wie gross auch die Zahl ihrer Umläufe seyn mag, so werden durchschnittlich in einem gewissen Zeitraume ebenso viele Massen auf der Sonne anlangen, als früher einmal in einem gleichen Zeitraume in ihren Anziehungsbereich eingetreten sind.

Alle diese Massen stürzen mit einem heftigen Stosse in ihr gemeinsames Grab. Da nun keine Ursache ohne Wirkung besteht, so muss auch jede dieser kosmischen Massen, ebenso wie ein zur Erde fallendes Gewicht, durch ihren Stoss eine, ihrer lebendigen Kraft proportionale Wirkung, eine gewisse Menge von Wärme, hervorbringen.

An die Vorstellung also von einer den weiten Himmelsraum durch Anziehung beherrschenden Sonne, von allenthalben im Universum verbreiteten wägbaren Materien und von einer die Welt erfüllenden widerstandleistenden ätherischen Substanz, an diese Vorstellungen knüpft sich mit innerer Nothwendigkeit eine andere, nemlich die von einer fortlaufenden, unerschöpf-

lichen Erzeugung von Wärme auf dem Centralkörper dieses kosmischen Systemes.

Ob nun eine solche Vorstellung in unserem Sonnensysteme realisirt, ob mit anderen Worten die immerwährende, wundervolle Licht- und Wärmeentwicklung eine Wirkung kosmischer Materien ist, die sich ohne Unterbrechung in die Sonne stürzen, diese Frage soll jezt einer näheren Prüfung unterworfen werden.

Was zuerst die Existenz von Urmaterien betrifft, die im Weltenraume schweben und der Massenanziehung des nächstgelegenen Sternsystemes, anfänglich mit äusserster Langsamkeit, folgen sollen, so werden die Astronomen und Physiker wohl kaum eine solche in Abrede zu ziehen geneigt seyn; denn der Reichthum der uns umgebenden Natur, sowie der Anblick des gestirnten Himmels, der durch seine erstaunliche Fülle den Beobachter zur Bewunderung hinreisst, lässt uns nicht glauben, dass der unermessliche Raum, der unser Sonnensystem von dem Gebiete anderer Fixsterne abscheidet, von jeder Materie entblösst nur aus einer völlig leeren Einöde bestehen sollte.

Lassen wir jedoch alle Vermuthungen über Gegenstände, die uns dem Raume und der Zeit nach so ferne stehen, und halten wir uns ausschliesslich an das, was die Beobachtung gegenwärtiger Dinge lehrt.

Im Raume des Sonnensystemes bewegen sich ausser den jetzt bekannten 14 Planeten und deren 18 Trabanten noch eine sehr grosse Zahl anderer Himmelsmassen, von welchen die Kometen zunächst Erwähnung verdienen.

Kepler's berühmter Ausspruch „es gibt mehr Kometen im Himmelsraume, als Fische im Ocean" gründet sich auf die Thatsache, dass nur ein sehr geringer Theil von der Gesammtzahl der Kometen unseres Sonnensystemes in ihrem Laufe den Erdbewohnern zu Gesichte kommen kann, und dass mithin nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung aus der nicht unbeträchtlichen Zahl wirklich beobachteter Kometen noch auf eine

weit grössere Menge solcher geschlossen werden muss, die sich ausser unserem Gesichtskreise bewegen.

Neben den Planeten, Monden und Kometen gibt es aber in unserem Sonnensysteme noch eine weitere Kategorie von Himmelskörpern. Es sind dieses geballte Massen, die ihrer verhältnissmässig ausserordentlich geringen Grösse wegen als kosmische Atome angesehen werden können, und denen *Arago* den passenden Namen „Asteroiden" gegeben hat. Wie die Planeten und Kometen, so folgen auch sie den Gesetzen der Schwere und umkreisen in elliptischen Bahnen die Sonne. Sie sind es, die, wenn sie durch Zufall in die unmittelbare Nähe der Erde kommen, das sich unaufhörlich wiederholende Schauspiel der Sternschnuppen und Feuerkugeln darstellen.

Anhaltende Beobachtungen haben gelehrt, dass in einer hellen Nacht selten zwanzig Minuten vergehen, worin nicht von einem beliebigen Standorte aus eine Sternschnuppe wahrgenommen werden kann. Zu gewissen Zeiten aber werden diese Meteore in erstaunlich grosser Menge beobachtet und man hat z. B. die Zahl derselben während eines neunstündigen Sternschnuppenfalles in Boston, wo sie „wie Schneeflocken zusammengedrängt" fielen, auf wenigstens 240 000 berechnet. Alles zusammengenommen lässt sich die Zahl der binnen Jahresfrist in die Nähe der Erde kommenden Asteroiden auf hunderte und tausende von Millionen schätzen. Ohne allen Zweifel ist dieses aber wiederum nur ein verschwindend kleiner Theil von der Gesammtzahl der Asteroiden, die um die Sonne treiben, und wenn man auf diese letztere nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung einen Schluss zieht, so verliert man sich in's Grenzenlose.

Wie schon erwähnt wurde, hängt es von der Existenz eines Widerstand-leistenden Aethers ab, ob diese Himmelskörper, Planeten, Kometen, Asteroiden, in gleichbleibenden mittleren Entfernungen die Sonne umkreisen, oder ob sie alle in einer beständigen Annäherung gegen den Centralkörper begriffen sind.

Ueber die factische Existenz eines solchen Aethers waltet aber unter den Naturforschern kein Zweifel ob. Hören wir, wie sich unter Andern *Littrow* hierüber äussert: „die Annah-„me dass die Planeten und Kometen sich im absolut leeren „Raum des Himmels bewegen kann auf keine Weise gestattet „werden. Wenn es in dem Weltenraume auch keine andere „flüssige Materie gäbe, als die, welche zur Existenz des Lich-„tes nothwendig ist (dieses Licht mag nun nach der Emis-„sionstheorie selbst materiell seyn, oder nach der Undulations-„lehre in den Schwingungen eines überall verbreiteten Aethers „bestehen), so ist dieses allein schon hinlänglich, die Beweg-„ungen der Planeten in einem solchen Medium in der Folge „der Zeiten und damit die Anordnung des Systemes selbst gänz-„lich zu ändern, ja die gegenwärtige Einrichtung desselben „ganz aufzuheben, da die endliche Folge eines solchen wider-„stehenden Mittels das Herabstürzen aller Planeten und Kome-„ten auf die Sonne seyn muss."

Einen directen Beweis von dem Vorhandenseyn eines sol-chen Widerstandes hat der Akademiker *Encke* geliefert, indem er nachgewiesen hat, dass der von ihm berechnete und nach ihm benannte Komet, welcher in der kurzen Zeit von 1207 Tagen um die Sonne läuft, eine regelmässige Beschleunigung seiner Bewegung zeigt, vermöge derer sich seine Umlaufszeit jedesmal um ungefähr sechs Stunden verkürzt.

Es ist der Natur der Sache angemessen, dass die Plane-ten, ihrer ausnehmenden Grösse und Dichtigkeit wegen, eine nur sehr langsame und bis jezt unmerkliche Verminderung ih-rer Bahndurchmesser erfahren. Dagegen müssen sich die klei-nen kosmischen Massen unter sonst gleichen Umständen in dem Masse der Sonne rascher nähern, je kleiner ihr körperlicher Durchmesser ist, und es kann mithin geschehen, dass in ei-nem Zeitraume, in welchem der mittlere Abstand der Erde von der Sonne um ein Meter abnimmt, ein kleines Asteroid einen Weg von mehr als tausend Meilen gegen die Sonne zurücklegt.

Da sich von allen Seiten langsam aber unaufhaltbar ein

unermesslicher Strom wägbarer Substanzen der Sonne zuwälzt, so müssen sich diese Massen bei ihrer Annäherung an den gemeinschaftlichen Mittelpunkt immer dichter und dichter zusammendrängen. Die Vermuthung liegt desshalb nahe, dass jenes schwache neblige Licht, das in ungeheuren Dimensionen die Sonne umgibt, das Zodiakallicht nemlich, sein Daseyn solchen zusammengedrängten Asteroiden verdanken könne. Wie dem aber auch sey, so ist mindestens ausgemacht, dass diese Lichterscheinung von materiellen Substanzen herrührt, die nach den gleichen Gesetzen, wie die Planeten u. s. w. um die Sonne sich bewegen, und es muss daher auch die ganze Zodiakallicht-Masse in fortwährender Annäherung gegen die Sonne, beziehungsweise in einem Zusammenstürzen mit derselben begriffen seyn.

Dieses Licht umgibt die Sonne nicht von allen Seiten gleichförmig, d. h. seine Gestalt ist nicht die einer Kugel, sondern die einer sehr plattgedrückten Linse, deren grössere Durchmesser in die Ebene des Sonnenäquators fallen, wodurch dasselbe von der Erde aus gesehen in Form einer aufsteigenden Pyramide sich darstellt. Eine solche linsen- oder scheibenartige Vertheilung der Massen im Himmelsraume findet sich bei der Disposition der Planeten und der Fixsterne auf eine merkwürdige Weise wiederholt.

Aus der grossen Anzahl kometarischer Massen und der Asteroiden, sowie aus dem Vorhandenseyn der Zodiakallicht-Materie einerseits und der Existenz eines widerstandleistenden Aethers andererseits ergibt sich mit Nothwendigkeit, dass fort und fort wägbare Substanzen auf der Sonnenoberfläche anlangen müssen. Der Effect aber, den diese Massen dort ausüben, hängt offenbar von ihrer Endgeschwindigkeit ab, und um diese zu finden, wollen wir einige Elementar-Sätze der Gravitations-Lehre kurz erörtern.

Ein Gewicht, das auf einen Weltkörper, von dem es angezogen wird, herabfällt, kommt mit um so grösserer Endgeschwindigkeit auf der Oberfläche des anziehenden Gestirnes an, je grösser die Höhe ist, von der aus das Gewicht seinen Fall begonnen hat. Diese Endgeschwindigkeit kann aber, wenn das Gewicht seine Bewegung nur durch Fallen erhält, eine gewisse Grösse nicht übersteigen; sie hat ein Maximum, dessen Werth von der Natur des anziehenden Himmelskörpers, nemlich von dem Volumen und der Masse desselben, abhängt.

Es sei der Halbmesser des als kugelförmig und compact gedachten Weltkörpers, nach Metern gezählt, = r, die Endgeschwindigkeit, die ein an der Oberfläche dieses Weltkörpers frei fallendes Gewicht in der ersten Sekunde erhält, sey, ebenfalls nach Metern gezählt, = g, so ist die grösste Geschwindigkeit, die das Gewicht durch seinen Fall gegen diesen Weltkörper erlangen kann, oder die Geschwindigkeit mit der es nach einem Falle aus unendlicher Höhe auf der Oberfläche ankommt, $= \sqrt{2gr}$ (Meter in einer Sekunde). Diese Zahl wollen wir der Kürze wegen G nennen.

Für die Erde ist g = 9,8164.. und r = 6 369 800. Folglich ist für dieselbe

$$G = \sqrt{(2 \times 9{,}8164 \times 6\,369\,800)} = 11183.$$

Der Sonnenhalbmesser ist 112,05 mal grösser, als der Halbmesser der Erde, die Fallgeschwindigkeit aber ist auf der Sonnenoberfläche 28,36 mal so gross als auf der Oberfläche der Erde. Folglich ist für die Sonne das Maximum der Fallgeschwindigkeit, oder

$$G = \sqrt{(28{,}36 \times 112{,}05)} \times 11183 = 630\,400,$$

d. h. es beträgt diese Geschwindigkeit 630 400 Meter = 85 geogr. Meilen in einer Sekunde.

Mit Hilfe dieser constanten Zahl G, welche man die Charakteristik des Sonnensystemes nennen kann, lässt sich die Geschwindigkeit, die ein in einer Centralbewegung begriffener

Körper in irgend einem Punkte seiner Bahn besitzt, leicht auffinden. Es sey die *mittlere* Entfernung des planetarischen Körpers, oder die halbe grosse Axe seiner Bahn, vom Schwerpunkte der Sonne aus gerechnet, und nach Sonnenhalbmessern gezählt, = a, die *jeweilige* Entfernung vom Sonnenschwerpunkte, ebenfalls nach Sonnenhalbmessern gezählt, = h, so ist die Geschwindigkeit, die der planetarische Körper in der Entfernung h besitzt, in Metern ausgedrückt

$$= G \times \sqrt{\frac{2a - h}{2a \times h}}.$$

In dem Augenblicke, wo der planetarische Körper die Sonnenoberfläche trifft, ist h = 1, mithin ist hier seine Geschwindigkeit

$$= G \times \sqrt{\frac{2a - 1}{2a}}.$$

Aus dieser Formel geht hervor, dass die Geschwindigkeit, mit der ein planetarischer Körper auf der Sonne ankommt, um so kleiner wird, je kleiner die grosse Axe seiner Bahn, 2a, ist. Diese Geschwindigkeit hat aber eben sowohl wie die grosse Axe ein Minimum, denn so lange der planetarische Körper ausserhalb der Sonne sich bewegt, kann seine grosse Axe nie kleiner als der Sonnendurchmesser, oder es kann die nach Sonnenhalbmessern gezählte Grösse 2a nie kleiner als 2 seyn. Die denkbar kleinste Geschwindigkeit eines auf die Sonne stürzenden kosmischen Körpers ist demnach

$$= G \times \sqrt{\tfrac{1}{2}} = 445750,$$

oder diese Geschwindigkeit beträgt 60 geogr. Meilen in 1 Sek.

Für diesen kleinsten Werth ist die Bahn des Asteroids kreisförmig; sie wird für grössere Werthe elliptisch, bis sie endlich unter zunehmender Excentricität für einen unendlich grossen Werth von 2a zur Parabel wird. In diesem Falle ist die Geschwindigkeit

$$= G \times \sqrt{\frac{\infty - 1}{\infty}} = G,$$

oder sie ist = 85 Meilen in 1 Sek.

Die Geschwindigkeit kann noch weiter bis ins Endlose wachsen, wenn die grosse Axe einen negativen Werth erhält, oder die Bahn hyperbolisch wird. Da aber solche Fälle nur dann eintreten können, wenn kosmische Massen mit einer gewissen Wurfgeschwindigkeit in den Raum des Sonnensystemes eindringen, solche Massen ferner, wenn sie die Sonnenoberfläche einmal verfehlt haben, ohne je wiederzukehren in das All hinaussteuern, so muss eine den Werth von G übersteigende Geschwindigkeit mindestens als höchst seltene Ausnahme betrachtet werden, wesshalb wir um sicher zu gehen nur die in einen Rahmen von 60 bis 85 Meilen eingeschlossenen Geschwindigkeiten in Betracht ziehen wollen *.

Die Endgeschwindigkeit, mit der ein lothrecht herabfallendes Gewicht auf der Sonne ankommt, wird durch die Formel erhalten

$$c = G \sqrt{\frac{h - 1}{h}},$$

wo c die gesuchte Endgeschwindigkeit nach Metern gezählt, und h die anfängliche Entfernung (Fallhöhe) vom Sonnenmittelpunkte aus gerechnet und nach Sonnenhalbmessern gezählt, ausdrückt. Vergleicht man diese Formel mit den vorhergehenden, so sieht man, dass eine in einer Central-Bewegung begriffene, auf der Sonne anlangende Masse die nemliche Geschwindigkeit hat, als ob diese Masse aus einer der grossen Axe ihrer Bahn gleichen Entfernung (vom Sonnenmittelpunkte aus gerechnet) lothrecht herabgestürzt wäre, woraus man zugleich ersieht, dass ein auf der Sonne ankommender planetarischer Körper mindestens so schnell sich bewegt, als ein Gewicht, das einen Sonnenhalbmesser oder 96000 geogr. Meilen hoch auf die Sonne frei herabgefallen ist.

* Die relative Geschwindigkeit, mit der ein Asteroid die Sonnenoberfläche trifft, hängt zum Theil auch einigermassen von der Umdrehungsgeschwindigkeit der Sonne ab. Dieses in jeder Hinsicht untergeordnete Moment kann jedoch hier ebensowohl, als ein etwaiger Rotations-Effect der stürzenden Asteroiden, ausser Acht gelassen werden.

Welches ist nun der solchen Geschwindigkeiten entsprechende Wärme-Effect? Ist derselbe gross genug, um bei der gewaltigen Wärmeentwicklung auf jenem Gestirne in Betracht kommen zu können?

Diese entscheidende Frage lässt sich aus dem Vorangehenden leicht beantworten. Nach der am Schlusse des 2ten Capitels gegebenen Formel ist der Wärme-erregende Effect beim Stosse

$$= 0^{0},000139 \times c^{2},$$

wo c die Geschwindigkeit des stossenden Körpers nach Metern gerechnet ausdrückt. Da nun die Geschwindigkeit eines Asteroids beim Zusammenstossen mit der Sonne 445 750 bis 630 400 Meter beträgt, so ist der Effect $= 27\,^{1}/_{2}$- bis 55 Millionen Grad Wärme. Eine Asteroid-Masse gibt also bei ihrem Sturze auf die Sonne 4600 bis 9200 mal so viel Wärme, als eine gleich grosse Menge Steinkohlen (à 6000 Calorien) durch Verbrennen liefert!

V.

Die Entstehung der Sonnenwärme.

Fortsetzung.

Eines der grossartigsten Räthsel, die Frage nach der Ursache der krummlinigen Bahnen der Planeten, hat *Newton* gelöst und zwar, wie gesagt wird, durch Nachdenken über den Fall eines Apfels. Diese Erzählung hat nichts Unwahrscheinliches; denn wenn man sich darüber klar geworden ist, dass zwischen Klein und Gross nur ein quantitativer, kein qualitativer, Unterschied besteht, wenn man, nicht Gehör gebend den

Einflüsterungen einer immer regen Phantasie, in den kleinsten wie in den grössten Naturprocessen dieselben Gesetze aufsucht, dann ist man auf dem rechten Wege zur Erkenntniss der Wahrheit.

Gerade diese *allgemeine* Gültigkeit liegt im Wesen der Naturgesetze und ist ein Probierstein für die Richtigkeit menschlicher Theorien. Wir beobachten den Fall eines Apfels, erforschen das dieser Erscheinung zu Grunde liegende Gesetz; an die Stelle der Erde setzen wir die Sonne, an die des Apfels einen Planeten und — wir haben den Schlüssel zur Mechanik des Himmels in den Händen.

Da nun Kleines mit Grossem zusammengestellt werden darf, so sey es gestattet, die von *Newton* befolgte Methode auch zur Lösung des Problemes von der Erzeugung der Sonnenwärme anzuwenden. Wir kennen einerseits den auf der Oberfläche der Erde herrschenden gesetzmässigen Zusammenhang zwischen Fallhöhe, Geschwindigkeit, lebendiger Kraft und Wärmeerzeugung, setzen wiederum an die Stelle der Erde die 350 000 mal massenreichere Sonne, an die Stelle einer Fallhöhe von einigen Metern kosmische Höhen und finden eine alles irdische Mass übersteigende Wärmeentwicklung. Da wir nun andererseits Gründe genug haben, einen solchen kosmisch-mechanischen Process als thatsächlich anzunehmen, so haben wir eine, und zwar die bis jetzt einzig haltbare, Erklärung von der Entwicklung der Sonnenwärme gefunden.

Dass die bei terrestrisch-mechanischen Processen erzeugte Wärme der Menge nach in der Regel weit hinter der auf chemischem Wege, durch Verbrennung gewonnenen, zurückbleibt und zurückbleiben muss, ergibt sich aus den erörterten Gesetzen von selbst und kann auf keine Weise gegen die Annahme grösserer Wärmeentwicklung bei grösseren mechanischen Processen geltend gemacht werden.

Es wurde gezeigt, dass ein von einer Höhe = 367^{m} auf die Erde herabfallendes Gewicht nur den sechstausendsten Theil

der Wärme entbindet, die ein gleich grosses Gewicht Steinkohlen durch Verbrennung gibt. Ebenso gering ist die von einem Gewichte entwickelte Wärmemenge, wenn das Gewicht die nicht unbeträchtliche Geschwindigkeit = 85^{m} in einer Sekunde besitzt. Da aber nach den sicheren Gesetzen der Mechanik der Effect dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional wächst, so muss das Gewicht, wenn es sich hundertmal schneller, oder mit einer Geschwindigkeit = 8500^{m}, bewegt, einen Effect hervorbringen, der bereits grösser ist, als der eines gleichen Gewichtes verbrennender Steinkohlen.

Freilich lässt sich eine so grosse Geschwindigkeit mit unseren Mitteln nicht hervorbringen; immerhin ist aber die Entwicklung hoher Temperaturgrade bei mechanischen Vorgängen eine Sache der stündlichen Erfahrung.

Beim Feuerschlagen erhitzen sich die durch einen leichten Stoss vom spröden Stahle losgerissenen Splitter stark genug um in der Luft sofort zu verbrennen. — Wenige Schläge von einem gewandten Schmiede mit dem Hammer geführt vermögen ein kaltes Stück Metall an der getroffenen Stelle zum Glühen zu bringen.

Eine neugemachte Kurbel eines Dampfschiffes, welche sich durch Bewegung glatt reiben sollte, erhitzte sich dabei zum völligen Rothglühen und erforderte mehrere Kübel Wasser zur Abkühlung.

Wenn ein Eisenbahnzug eine starke Krümmung, obschon mit sehr ermässigter Geschwindigkeit, befährt, so sprühen in Folge der Reibung Massen von Funken über die Schienen hin. U. s. f.

Einer von den grossartigsten Bewegungs-Apparaten, welche von menschlicher Kunst hergestellt worden, ist die von dem trefflichen Ingenieur *J. Rupp* vor dreissig Jahren am Pilatusberge erbaute berühmte Holzleitung, auf welcher das unbenützte Holz jener Urwälder in die Ebene hinabgelassen wurde. Die zu diesem Zwecke errichtete kolossale hölzerne

Rinne hatte eine Länge von drei Stunden und die grössten Stämme gelangten in derselben binnen $2\frac{1}{2}$ Minuten von der Höhe des Berges bis in die Ebene hinab. Die Gewalt, mit welcher das Holz unten anlangte, war so gross, dass Bäume, wenn sie aus der Rinne seitwärts herausgelassen wurden, mit ihrem dicken Ende 6 bis 8 Meter tief in den Erdboden drangen. Um eine allzugrosse Erhitzung, ein Verkohlen und Entzünden der herabschiessenden Stämme zu verhüten, musste von vielen Seiten Wasser in die Rinne geleitet werden.

Dieser gewaltige terrestrisch-mechanische Process ist aber, den auf der Sonne stattfindenden kosmischen Processen gegenüber, wahrhaft verschwindend klein zu nennen; denn dort ist es die Sonnenmasse, welche anzieht, und an die Stelle des Pilatus treten Fallhöhen von 100000 und mehr Meilen, wesshalb denn auch der Wärme-Effect dort zum mindesten 9 millionenmal grösser ist, als hier.

Gehen Wärmestrahlen durch Glas oder andere durchsichtige Körper hindurch, so erleiden sie dabei eine Schwächung, die aber je nach der Temperaturverschiedenheit der Quelle, aus der die Strahlen fliessen, verschieden gross ist. Befindet sich die Temperatur der Wärmequelle unter der des kochenden Wassers, so werden die davon ausgehenden Wärmestrahlen auch durch die dünnste Glasplatte fast bis auf die letzte Spur zurückgehalten. Dagegen wächst die diathermane Energie der Strahlen fortwährend, wie die Temperatur der Quelle höher wird. So schwächt z. B. eine Glasscheibe die Wärmestrahlen eines dunkelrothglühenden Körpers, wenn man demselben auch noch so nahe rückt, viel stärker, als die eines weissglühenden bei viel grösserer Entfernung. Wenn man nun die Qualität der Sonnenstrahlen in dieser Rücksicht prüft, so findet man, dass diese durch ihre ausserordentliche diather-

mane Energie alle künstlichen Wärmestrahlen bei weitem übertreffen. Denn wenn man das Sonnenlicht in dem Brennpunkte eines concaven Metallspiegels sammelt, und dann vor diesen Spiegel einen Glasschirm setzt, so wird dadurch die Temperatur des Brennpunktes nur sehr wenig, etwa nur um $\frac{1}{7}$ oder $\frac{1}{8}$ vermindert; stellt man aber den nemlichen Versuch mit einem künstlichen Feuer an, so findet man, dass während eine directe Zurückwerfung vom Metallspiegel ohne Glasschirm eine starke Hitze bewirkt, nach Zwischensetzung des Schirmes eine sehr schwache, oft unmerkliche, Wärme entsteht, selbst wenn man sich dem Feuer so weit nähert, dass das Lichtbild im Brennpunkte lebhafter wird, als zuvor.

Dieses Erfahrungsgesetz, dass die Raum-durchdringende Energie der Wärmestrahlen im allgemeinen zunimmt, wenn die Temperatur ihrer Quelle eine höhere wird, lehrt, dass auf der Sonnenoberfläche eine weit grössere Hitze herrschen muss, als der heftigste Verbrennungsprocess hervorzubringen vermag.

Zu dem nemlichen Resultate gelangt man auch auf anderen Wegen. Stellt man sich eine um die Sonne gespannte Hohlkugel vor, so sieht man, dass die ganze Strahlenmenge, die diese Kugelfläche erhält, den Wärmestrahlen entsprechen muss, welche von der Sonnenoberfläche ausgesendet werden. Eine solche, in der Entfernung unserer Erde um die Sonne ausgespannte, Hohlkugel hat nun bei einem 215 mal grösseren Radius eine 46000 mal grössere Oberfläche als die Sonnenkugel, woraus folgt, dass eine in der Entfernung der Erde den Sonnenstrahlen rechtwinkelig ausgesetzte Fläche diese Strahlen in 46000 facher Verdünnung erhält. Rechnet man hinzu, dass durch die Erdatmosphäre stets ein Theil der Sonnenstrahlen absorbirt wird, so findet man, dass sich die Strahlen unserer tropischen Mittagssonne mindestens in einer 50- bis 60000 fachen Verdünnung befinden. Diese Strahlen in einer Ausdehnung von 5 bis 6 Quadrat-Metern gesammelt und auf ein

Quadrat-Centimeter concentrirt, würden eine der Sonnenoberfläche annähernd gleichkommende Temperatur hervorbringen. Eine solche Hitze wäre aber mehr als hinreichend, um die strengflüssigsten Metalle zu vergasen.

Auch die im 3. Cap. ihrer Grösse nach berechnete Ausstrahlung der Sonnenoberfläche beweist die dort herrschende enorme Hitze. Aus den oben gegebenen Grössenbestimmungen findet man nemlich, dass jedes Quadrat-Centimeter Sonnenoberfläche in einer Minute circa 80 Wärmeeinheiten ausstrahlt, — eine, im Vergleiche mit terrestrischen Strahlungsprocessen ganz ungeheure Grösse.

Eine richtige Theorie von dem Ursprunge der Sonnenwärme muss über den Grund und das Zustandekommen einer solchen extremen Temperatur Auskunft geben. Die Erklärung davon geht aus dem Bisherigen von selbst hervor.

Nach *Pouillet* beträgt die Temperatur der heftigsten Weissglühhitze 1500° C. Die Verbrennungswärme von einem Kilogramme Wasserstoffgas beläuft sich nach den Versuchen von *Dulong* auf etwa 34500, nach den neuesten Versuchen von *Grassi* auf 34666 Wärmeeinheiten. Da sich nun ein Gewichtstheil Wasserstoff bei der Verbrennung mit acht Gewichtstheilen Sauerstoff verbindet, so gibt das Knallgas eine Verbrennungswärme von 3850°.

Vergleicht man diese künstlichen Feuer mit der von einem auf die Sonne stürzenden Asteroide hervorgebrachten Hitze, so findet man die letztere (auch abgesehen von der im Vergleiche zum Wasser wahrscheinlich ziemlich geringen Wärme-Capacität der Asteroid-Massen) 7- bis 14000 mal grösser, als selbst die Hitze eines Knallgasgebläses, woraus sich denn die ausserordentliche diathermane Energie der Sonnenstrahlen, die unermesslich grosse Ausstrahlung der Sonnenoberfläche und die extreme Hitze im Focus der Brennspiegel leicht ergibt.

Aus den angeführten Thatsachen geht noch ferner hervor, dass jeder chemische Process — wenn man nicht für die Son-

ne Materien von unbekannten und unerhörten chemischen Qualitäten als einen *deus ex machina* supponiren wollte — unzureichend wäre, die Strahlung der Sonne in ihrem gegenwärtigen Stande zu unterhalten; ja, es ergibt sich sogar daraus, dass die chemische Natur der herabstürzenden Massen bei diesem grossartigen Naturprocesse fast gar nicht mehr in Betracht kommt, soferne der Effect sich nicht um ein *pro mille* ändert, die herabfallenden Massen mögen nun aus höchst brennbaren oder aus chemisch todten Substanzen bestehen; denn wie das blendendste Licht einer künstlichen Flamme durch das in mehr als 100 000 facher Verdünnung befindliche Sonnenlicht verdunkelt wird, so tritt die stärkste chemische Action vor jenem kosmisch-mechanischen Processe in den Hintergrund.

Die aus der Temperatur der Sonne resultirende Qualität ihrer Strahlen ist für uns Erdenbewohner von grosser Wichtigkeit. Wäre die Ursache der Sonnenwärme nichts weiter als ein chemischer Process, und beliefe sich die Temperatur an der Quelle nur auf einige tausend Grade, so könnte der Erdboden zwar wohl durch die Sonne erleuchtet werden, das Wichtigste aber, die Wärme, würde zum grossen Theile von den oberen Schichten der Atmosphäre absorbirt und in den Weltraum wieder zurückgesendet. Vermöge der hohen Temperatur der Wärmequelle aber ist die Atmosphäre der Erde für die Wärmestrahlen der Sonne ausgezeichnet diatherman, und somit setzen sich diese Strahlen grossentheils als freie Wärme an der soliden Oberfläche der Erde ab. Bei der relativ sehr niederen Temperatur dieser Oberfläche nun vermag die Bodenwärme nicht so leicht wieder rückwärts die Atmosphäre strahlend zu durchdringen und in den Weltraum auszuströmen. Es bildet also die Atmosphäre eine Hülle, welche dem Eindringen der Sonnenstrahlen einen geringen, dem Ausstrahlen der Erdwärme aber einen grossen Widerstand entgegensetzt und, wie ein nach unten sich öffnendes, nach oben

sich schliessendes Ventil, die Wärme auf der Erdoberfläche zusammenhält.

Für die meteorologischen Processe und die klimatischen Verhältnisse unseres Planeten ist dieser Umstand von hoher Bedeutung. Denn da der luftförmigen Bekleidung des festen Erdkörpers für die Sonnenstrahlen eine grosse, für die relativ sehr kalte Erdoberfläche aber eine geringe Diathermanie zukommt, so muss durch diese Umhüllung die *mittlere Temperatur* der Erdoberfläche sehr erhöht werden. Denkt man sich die Atmosphäre von der Erde weggenommen, so würde die Temperatur des Erdbodens nach Sonnenuntergang und im Schatten schnell zur intensivsten Kälte — zur Temperatur des Weltraumes — herabsinken und selbst zwischen den Wendekreisen würde die Mittagssonne nicht mehr hinreichen das zu Felsen erstarrte Wasser zu erweichen.

Zwischen dieser Kälte, welche aller Orten und zu allen Jahres- und Tageszeiten nach Wegnahme der Atmosphäre herrschen würde, und der durch die wirkliche Existenz der Atmosphäre bedingten gemässigten Temperatur lassen sich nun Uebergänge denken, welche durch eine allmälige Verdünnung der Atmosphäre vermittelt werden, wobei man leicht sieht, dass die mittlere Temperatur der Erde in dem Masse abnehmen müsste, als ihre Atmosphäre verdünnt würde. Eine solche Verdünnung der luftförmigen, die Sonnenwärme klappenartig zurückhaltenden Umhüllung tritt aber mit der Elevation über den Meeresspiegel wirklich ein und ist desswegen auch mit einer entsprechenden Wärmeabnahme nothwendig verknüpft.

Diese allbekannte Thatsache der geringeren mittleren Wärme höher gelegener Orte hat zu den sonderbarsten Hypothesen Veranlassung gegeben. Es sollten die Sonnenstrahlen an und für sich nicht die vollständigen Bedingungen der Wärmeentwicklung enthalten, vielmehr sollte durch diese Strahlen nur der an die Erde gebundene Wärme „stoff“ in Bewegung gesetzt oder erwärmt werden. Der von der Erde durch An-

ziehung festgehaltene, ruhende oder kalte Wärme „stoff“ finde sich vornemlich in der Tiefe angesammelt, wesshalb denn die Wärme-erregende Kraft der Sonnenstrahlen auf hohen Bergen so gar gering sey, und woraus sich nebenbei auch ganz gut erklären lasse, warum die Sonne ihrer beständigen Strahlung unerachtet nicht erkalte.

Dieser namentlich unter Laien vielverbreitete und schwerlich auszurottende Glaube wird durch die vortrefflichen pyrheliometrischen Versuche, welche ***Pouillet*** auf verschiedenen Höhen angestellt hat, direct widerlegt. Es ergibt sich nemlich aus diesen Versuchen, dass die Wärmeentwicklung durch die Sonnenstrahlen unter sonst gleichen Umständen in der Höhe in der That stärker ist, als in der Tiefe, und dass also ein Theil der Sonnenstrahlen sammt ihrer Wärme-erregenden Kraft beim Durchgange durch die Atmosphäre allerdings absorbirt wird. Warum aber die niedergelegenen Gegenden trotz der minderen Wärmezufuhr höher temperirt sind, als die hoch gelegenen, davon liegt der Grund darin, weil in der Tiefe das Ausstrahlen in noch höherem Grade vermindert ist, als das Einstrahlen.

VI.

Die Unveränderlichkeit der Sonnenmasse.

Bekanntlich hielt ***Newton*** das Licht für eine von der Sonne in das Weltall ausströmende materielle Substanz. Consequent dieser Ansicht, erblickte dieser grosse Naturforscher in dem Ausstrahlen von Licht einen Grund zur fortwährenden Verminderung der Sonnenmasse, nahm aber, um diesen Verlust zu decken, einen sich stets wiederholenden Sturz kometarischer Materien auf den Central-Körper an.

Kleiden wir diese *Newton*'sche Lehre in das Gewand der jetzt herrschenden Vibrations-Theorie, so erhalten wir die im Vorangehenden entwickelten Lehrsätze. Zwar nimmt diese Theorie keinen specifischen Licht „stoff", keinen Wärme„stoff" u. s. w. mehr an, nichtsdestoweniger besteht aber auch nach ihr das Strahlen von Licht und Wärme in einem rein materiellen Vorgange, in einer Bewegung, einem Erzittern ponderabler, widerstandleistender Substanzen. Ruhe ist Nacht und Tod, Bewegung gibt Licht und Leben.

Eine von einem Punkte oder einer Fläche aus in einem unbegrenzten Medium erregte, undulirende Bewegung lässt sich aber nicht denken ohne eine gleichzeitige fortschreitende Bewegung, einem Fortgedrängtwerden der vibrirenden Massentheile *, und es liegt also nach der Vibrations-Theorie nicht weniger, als nach der Emanations-Theorie in dem Strahlen der Sonne ein Grund zu einer fortwährenden Massenverminderung dieses Fixsternes. Warum aber dem ungeachtet die Sonnenmasse nicht eine wirkliche Abnahme erleidet, davon wurde ein genügender Grund bereits angegeben.

Das Strahlen der Sonne ist die einer centripetalen Bewegung äquivalente centrifugale Action.

Der Wärme-gebende Effect der centrifugalen Sonnenthätigkeit kann durch unmittelbare Wahrnehmung aufgefunden werden. Nach Cap. III. beträgt derselbe in einer Minute 12 650 Millionen Wärme-Kubikmeilen oder 5,17 Quadrillionen Wärmeeinheiten. Da nun, wie im 4ten Capitel gezeigt wurde, 1 K° Asteroid-Masse 27½- bis 55 Millionen Wärmeeinheiten gibt, so folgt daraus, dass die Quantität der auf die Sonne niederstürzenden kosmischen Materien in jeder Minute zwischen 94 000- und 188 000 Billionen Kilogramme betragen muss.

Um zu diesem bemerkenswerthen Resultate zu gelangen,

* Diese centrifugale Bewegung übt vielleicht jenen repulsiven Einfluss auf die Kometenschweife aus, den *Bessel* in der Nähe der Sonne wahrgenommen hat.

bedienten wir uns eines in der Naturforschung häufig zur Anwendung gebrachten Verfahrens. Durch Beobachtung des Mondlaufes verschaffen wir uns Aufschluss über die äussere Gestalt unserer Erde; mit der Drehwage bestimmt der Physiker das Gewicht eines Planeten wie der Kaufmann ein Collo abwägt, und das Pendel ist dem Geologen zur Wünschelruthe geworden, womit er tief im Bauche der Erde gelegene Höhlungen zu entdecken vermag. So auch hier. Durch Beobachtung und Berechnung der Schallgeschwindigkeit in unserer Atmosphäre wird der Exponent des Verhältnisses der Wärmecapacitäten der Gase unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen gefunden und mittelst dieses Exponenten die durch irgend eine mechanische Arbeit, z. B. durch das Herabfallen eines Gewichtes producirte, Wärmemenge bestimmt. Aus der Wärme ferner, welche die Sonne auf einer kleinen Fläche unseres Erdbodens in einer gewissen Zeit erregt, wird der ganze strahlende Effect der Sonne berechnet, und das Facit einer Reihe von Beobachtungen und gesicherten Schlüssen ist die quantitative Bestimmung der kosmischen Massen, welche die Sonne aus dem Raume erhält, den sie mit ihren Strahlen erleuchtet.

Nach dem Massstabe irdischer Verhältnisse gemessen erscheint die gefundene Zahl von so vielen Billionen in jeder Minute ganz unglaublich gross. Dieselbe lässt sich aber unserem Vorstellungsvermögen näher bringen, wenn man sie mit anderen kosmischen Grössen vergleicht. Das uns zunächst gelegene Gestirn, der Mond, hat eine Masse von etwa 90000 Trillionen Kilogrammen; dieser kleine Himmelskörper würde folglich hinreichen, den Verbrauch der Sonne 1 bis 2 Jahre lang zu decken. Die Masse der Erde aber wäre 60 bis 120 Jahre lang im Stande, die nöthige Nahrung für die Sonnenstrahlung abzugeben.

Zur Versinnlichung der Massen- und Entfernungsverhältnisse des Planetensystemes geben wir nach ***Herschel*** folgendes Bild. Als Sonne stelle man sich eine Kugel von 1 Meter

Durchmesser vor. In einer Entfernung von 40 Metern befindet sich der nächste Planet, Merkur, in der Grösse eines Pfefferkornes von 3½ Millimeter Dicke. 78 und 107 Meter von der Sonne entfernt bewegen sich Venus und Erde, beide 9 Millimeter dick oder etwas mehr als erbsengross. Von der Erde nicht viel über ¼ Meter entfernt ist der Mond, ein Senfkorn von 2½ Millimeter Durchmesser. Mars hat in einer Entfernung von 160 Metern etwa den halben Durchmesser der Erde, und die kleineren Planeten, Vesta, Hebe, Asträa, Juno, Pallas, Ceres &c., gleichen Sandkörnern, in einer Entfernung von 250 bis 300 Metern von der Sonne. Jupiter und Saturn, in Entfernungen von 560 und 1000 Metern, gleichen Orangen von 10 und 9 Centimeter Dicke. Uranus, mit einem Durchmesser von 4 Centimetern, einer Baumnuss ähnlich, ist 2000 Meter, und der einem Apfel von 6 Centimeter Durchmesser vergleichbare Neptun, nahe doppelt so viel, oder etwa ½ geogr. Meile weit, von der Sonne entfernt. Von da an hätte man aber noch einen Raum von mehr als 2000 Meilen bis zum nächsten Fixsterne zurückzulegen.

Dieses Bild zu ergänzen, hat man sich nun noch eine verschieden gruppirte, äusserst fein vertheilte Materie vorzustellen, die sich allmälig gegen die grosse Kugel im Mittelpunkte hinzieht um dort niederzufallen, und die, von dieser Kugel aus günstig erleuchtet, sonnenstaubartig das Zodiakallicht darstellt. Auch dieser Staub bildet ein wichtiges Glied in einer Schöpfung, wo Nichts von Ungefähr, sondern Alles mit göttlicher Zweckmässigkeit geordnet ist.

Die Oberfläche der Sonne beträgt 115 000 Millionen Quadrat-Meilen oder 6⅓ Trillionen Quadrat-Meter. Da nun das Quantum der in 1 Minute auf die Sonne stürzenden Asteroid-

Massen 94 000- bis 188 000 Billionen Kilogramme beträgt, so folgt hieraus für 1 Quadrat-Meter Sonnenoberfläche eine Massenzunahme von durchschnittlich 15 bis 30 Grm. per Minute.

Um diesen Vorgang mit einer nahe liegenden terrestrischen Erscheinung zu vergleichen, erinnere man sich, dass ein schwacher Regen in einer Stunde eine 1 Millimeter hohe Wasserschichte gibt, (während starke Gewitterregen leicht das 10 bis 15 fache Quantum liefern) welches für 1 Quadrat-Meter Oberfläche in einer Minute 17 Grm. ausmacht.

Durch dieses fortwährende Herabhageln kosmischer Stoffe müsste, wenn der centrifugale Process für sich allein bestände, sowohl das Volumen als das Gewicht der Sonne vermehrt werden. Die Zunahme des Volumens könnte aber nur auf eine für uns völlig unmerkliche Weise erfolgen; denn zur Vermehrung des scheinbaren Durchmessers der Sonne um eine einzige Bogensekunde (der kleinsten bemerkbaren Grösse) wären, wenn man das specifische Gewicht der kosmischen Massen durchschnittlich dem der Sonne gleich setzt, 33000 bis 66000 Jahre erforderlich.

Nicht so unbemerkt könnte die Gewichtszunahme der Sonne vor sich gehen. Da sich nemlich die Umlaufsgeschwindigkeiten der Planeten bei gleichbleibender mittlerer Entfernung verhalten wie die Quadratwurzeln aus den Massenzahlen des Central-Körpers, so ergibt sich aus einer Gewichtszunahme der Sonne zugleich eine Beschleunigung der Planeten-Bewegungen oder eine Verkürzung ihrer Umlaufszeiten. Da die Masse der Sonne 2,1 Quintillionen Kilogramme beträgt, so verhält sich die Masse der binnen Jahresfrist auf der Sonne anlangenden Stoffe zur Masse der ganzen Sonne, wie 1 : 21- bis 42 Millionen, und diese Zunahme für sich allein müsste also eine jährliche Verkürzung des siderischen Jahres um $^1/_{42}$- bis $^1/_{85}$ Millionentheil seiner Länge, oder um eine $^3/_4$ bis $^3/_8$ Zeitsekunde herbeiführen.

Eine solche Abnahme der Länge des siderischen Jahres

stimmt aber mit den Beobachtungen der Astronomen keineswegs überein; wir werden desshalb wieder auf die im Eingange dieses Capitels aufgestellte Theorie zurückgeführt, dass die Sonne, dem Weltmeere ähnlich, in einem beständigen Wechsel von Zu- und Abfluss sich unverändert erhält, was mit der Annahme von einem Constant-bleiben der Summe aller lebendigen Kräfte im Universum harmonirt.

VII.

Die Sonnenflecken.

Der jüngere ***Herschel*** entwirft von der Sonnenoberfläche folgendes Bild:

„Wenn man die Sonne durch starke Fernröhren betrachtet, die mit farbigen Gläsern versehen sind, um die Hitze „und den Glanz zu beseitigen, die sonst unsere Augen verletzen würden, so bemerkt man häufig grosse und ganz „schwarze Flecken auf derselben, welche mit einer Art von „Rand umgeben sind, der nicht so dunkel ist, und ein Halbschatten genannt wird. Diese Flecken sind indessen nicht „beständig und unveränderlich. Wenn man sie von Tag zu „Tag, oder selbst von Stunde zu Stunde beobachtet, so „sieht man sie grösser werden oder sich zusammenziehen, „ihre Form verändern und endlich ganz verschwinden, oder „von Neuem an Stellen der Oberfläche hervorbrechen, wo „zuvor keine waren. In den Fällen des Verschwindens zieht „sich der mittlere dunkle Fleck immer in einen Punkt zusammen, und verschwindet früher als der Rand. Zuweilen „brechen sie auf, oder theilen sich in zwei oder mehrere „und bieten alsdann in diesen alle Merkmale jener grossen

„Beweglichkeit dar, welche nur dem flüssigen Zustande an-
„gehört, und jener ausserordentlichen Unruhe, die nur mit
„dem atmosphärischen oder gasförmigen Zustande des Stof-
„fes verträglich zu seyn scheint. Der Maasstab, nach wel-
„chen ihre Bewegungen statt finden, ist unermesslich. Eine
„einzige Bogensekunde, von der Erde aus gesehen, ent-
„spricht auf der Sonnenscheibe 465 englischen Meilen; und
„ein Kreis von diesem Durchmesser, welcher desshalb bei-
„nahe 220 000 englische Quadratmeilen enthält, ist der klein-
„ste Raum, den man auf der Sonne als eine *sichtbare Fläche*
„deutlich erkennen kann. Es sind indessen Flecke beobach-
„tet worden, die einen Lineardurchmesser von mehr als
„45 000 englischen Meilen hatten, ja selbst von noch weit
„grösserem Durchmesser, wenn man einigen Nachrichten
„trauen darf. Damit ein solcher Fleck sich binnen 6 Wochen
„gänzlich schliesse (denn sie dauern kaum jemals länger),
„müssen seine Ränder sich täglich um mehr als 1000 eng-
„lische Meilen einander nähern.“

„Derjenige Theil der Sonnenscheibe, welcher keine
„Flecken hat, ist darum bei Weitem noch nicht gleichför-
„mig glänzend. Der Grund desselben ist fein gesprenkelt
„mit sehr kleinen dunkeln Punkten, Poren, die bei aufmerk-
„samer Betrachtung in einem Zustande beständiger Verän-
„derung gefunden werden. Es gibt nichts, was diese Er-
„scheinung so treu darstellt, als das langsame Niedersinken
„einiger flockigen chemischen Präcipitate in einer durchsich-
„tigen Flüssigkeit, wenn man dieselben senkrecht von oben
„herab betrachtet. Diese Darstellung ist überhaupt so treu,
„dass es kaum möglich ist, nicht auf den Gedanken zu kom-
„men, dass ein leuchtendes Medium mit einer durchsichtigen
„und nicht leuchtenden Atmosphäre untermengt, aber nicht
„gemischt sey, und entweder in derselben, gleich den Wol-
„ken in unserer Luft, schwimmen, oder sie in ausgedehnten

„Flächen und in flammenartigen Säulen oder nordlichtähn-
„lichen Ausstrahlungen durchdringen.“

„Endlich bemerkt man in der Nähe grosser Flecke oder
„ausgebreiteter Gruppen derselben, oft weite Räume der
„Oberfläche mit stark gezeichneten, gekrümmten oder in
„Zweige auslaufenden Strichen bedeckt, die weit glänzender
„sind, als die übrigen Theile. Es sind dieses die sogenann-
„ten Sonnenfackeln, zwischen welchen häufig dergleichen
„Flecken entstehen, wenn sie nicht bereits vorhanden sind.
„Man kann sie mit grosser Wahrscheinlichkeit vielleicht als
„die Kämme unermesslicher Wogen in den Lichtregionen
„der Sonnenatmosphäre betrachten, die eine heftige Beweg-
„ung in ihrer Nachbarschaft anzeigen.“

Soweit *Herschel*. Die auf der Oberfläche der Sonne wahrnehmbaren Revolutionen deuten offenbar auf das Eindringen einer äusseren Gewalt hin, indem sich sonst jede der Sonne inwohnende, bewegende Kraft durch ihre Actionen zuletzt erschöpfen müsste, und es sind dieselben somit kein unwichtiger Beleg für die im Bisherigen vorgetragene Theorie.

Inzwischen liegt es in der Natur der Sache, dass wir von der physischen Heliographie nur geringe Kenntnisse besitzen können; bietet uns doch unser eigener Planet in seinen meteorischen Processen u. s. w. noch so viel Räthselhaftes dar. Aus diesem Grunde lässt sich denn etwas Näheres über die Art und Weise, wie die Sonnenoberfläche durch die eindringenden kosmischen Massen, die uns ihrer Natur nach selbst wieder grösstentheils unbekannt sind, erregt wird, nicht wohl angeben; doch möge es erlaubt seyn, einige naheliegende Vermuthungen hierüber zusammenzustellen.

Bei der auf der Sonne herrschenden ausserordentlich hohen Temperatur kann dort an ein eigentliches Festland nicht gedacht werden, vielmehr stellt ohne Zweifel die ganze Sonnenoberfläche nur einen ununterbrochenen Ocean feurig flüssiger Materien dar. Auf diesem Oceane liegt eine Schichte

glühender Gase, eine Flammenatmosphäre, Photosphäre, deren Existenz *Arago* aus den Eigenschaften des Sonnenlichtes nachgewiesen hat. Diese elastisch-flüssige Hülle setzt sich in immer grösserer Verdünnung nach oben hin in den Aether fort.

Da die meisten Materien Neigung haben, bei gewissen hohen Temperaturgraden Gasform anzunehmen, so kann die Höhe der Sonnenatmosphäre nicht unbeträchtlich seyn. Es sind aber gute Gründe vorhanden, welche an eine relativ grosse Ausdehnung dieser Atmosphäre dennoch nicht glauben lassen.

Da nemlich die Schwere auf der Sonnenoberfläche 28 mal grösser ist, als auf der Oberfläche der Erde, so übt eine und dieselbe Luftsäule dort einen 28 mal grösseren Druck aus, als hier. Dieser grössere Druck beschränkt aber in so weit die Ausdehnung der Luftsäule, dass er einer Temperatur-Erhöhung von nahe 8000° das Gleichgewicht hält.

Noch viel mehr als diese grössere Schwere kommen aber die den elastischen Flüssigkeiten eigenthümlichen Raum- und Druckverhältnisse in Betracht, vermöge derer die Verdünnung oder Verdichtung dieser Materien mit zunehmender Höhe oder Tiefe sehr rasch wächst. Im allgemeinen steigt nemlich die Verdünnung in einer geometrischen Progression, wenn die Höhe in einem arithmetischen Verhältnisse zunimmt. Auf der Erde entspricht einer Höhe oder Tiefe von ungefähr $2\frac{1}{2}$, von 5 und von 30 Meilen, beziehungsweise eine 10 malige, 100 malige und billionenmalige Verdünnung oder Verdichtung der Atmosphäre.

Dieses Gesetz, wiewohl modificirt durch die in den verschiedenen Schichten der Photosphäre herrschenden bedeutenden Temperaturverschiedenheiten und durch die uns unbekannte chemische Natur jener Materien, muss auch für die Sonne eine beiläufige Gültigkeit haben. Da indessen die mittlere Temperatur der Sonnenatmosphäre weit höher seyn muss, als die der Erdatmosphäre, so wird auch die Dichtigkeit der Sonnenatmosphäre mit der Höhe und Tiefe weniger schnell

ab- und zunehmen, als dieses auf der Erde der Fall ist. Nehmen wir nun an, dass auf der Sonne diese Ab- und Zunahme selbst 10mal langsamer erfolge, als auf der Erde, so ergibt sich daraus für eine Höhe von 25, von 50 und von 300 Meilen beziehungsweise eine 10 fache, eine 100 fache und eine billionenfache Verdünnung. Daraus folgt aber, dass die Höhe der Sonnenatmosphäre keine 400 geogr. Meilen, oder nicht $\frac{1}{240}$ des Sonnenhalbmessers betragen kann. Denn setzt man auch die Dichtigkeit der Sonnenatmosphäre an ihrer untern Grenze 1000 mal grösser, als die der Erdatmosphäre an der Meeresfläche, also grösser als die Dichtigkeit des tropfbarflüssigen Wassers, was doch nothwendig schon zu gross ist, so ist die Atmosphäre der Sonne in einer Höhe von 400 Meilen schon 10 billionenmal dünner als die Erdatmosphäre, d. h sie hat dort nach menschlichen Begriffen zu seyn aufgehört.

Aus dieser Betrachtung geht hervor, dass die Sonnenatmosphäre im Vergleiche mit der Ausdehnung des Sonnenkörpers nur eine geringe Höhe haben kann, und zugleich lässt sich daraus entnehmen, dass auf der Sonnenoberfläche, der grossen Hitze ungeachtet, unter einem viele tausend Erdatmosphären betragenden Drucke möglicherweise Wasser und ähnliche flüchtige Materien in tropfbarflüssigem Zustande sich befinden können.

Da die Luftarten, wenn sie nicht mit festen Partikeln untermengt sind, auch bei sehr hoher Temperatur meist nur ein schwaches, durchsichtiges Licht, — ein sogenanntes *lumen philosophicum* — geben, so stammt wahrscheinlich das blendend weisse Sonnenlicht hauptsächlich von dem solideren Theile der Sonnenoberfläche her. Nimmt man dieses an, so wird man von selbst darauf geführt, die Entstehung der Sonnenflecken und Fackeln darin zu suchen, dass durch höchst gewaltsame meteorische Processe, zu welchen auf der Sonne alles Material vorhanden ist, und zum Theil wohl auch durch die unmittelbare Einwirkung ganzer Asteroiden-Schwärme u. s. w.,

der lichtgebende Ocean einerseits in seinen Tiefen aufgewühlt, andererseits zu Bergen aufgethürmt wird. Die auf solche Weise blos gelegten tieferen und mehr abgekühlten Schichten des Sonnenkörpers mögen uns dann als Flecken, die aufgeworfenen Gebirge aber als Fackeln erscheinen.

Dass die von den Flecken ausgehenden Strahlen in geringerem Grade Wärme-erregend sind, als die Strahlen von helleren Theilen der Sonnenscheibe, scheint durch die hierüber von einem nordamerikanischen Physiker, ***Henry,*** angestellten Versuchen bewiesen zu seyn.

Noch ist des merkwürdigen Umstandes Erwähnung zu thun, dass die Flecken in eine Zone eingeschlossen erscheinen, die sich etwa auf 30° zu beiden Seiten des Sonnenäquators erstreckt. Der Gedanke liegt nahe, jene solaren, die Flecken und Fackeln bedingenden Processe sowohl mit der Rotationsgeschwindigkeit der Sonnenoberfläche, als auch mit den aus der Zodiakallicht-Wolke niederstürzenden Massen in einen ursächlichen Zusammenhang zu bringen und hieraus die Beschränkung der Sonnenflecken auf die Aequatorialzone abzuleiten. Dabei bleibt es jedoch immer noch räthselhaft, mit welchen Mitteln die Natur die den Polarzonen wie der Aquatotorialgegend zukommende Gleichförmigkeit des Ausstrahlungsvermögens der Sonne bewirkt hat.

VIII.

Die Ebbe und Fluth.

Das Strahlen der Sonne ist der letzte Grund von fast allen lebendigen Kraftäusserungen und Bewegungen auf der Erdoberfläche. Jedoch machen einige Processe hievon eine merkwürdige Ausnahme.

Unter diese gehört die Ebbe und Fluth. Diese Naturerscheinung, über welche *Newton*, *Laplace* u. v. A. herrliche und in vieler Hinsicht erschöpfende Untersuchungen angestellt haben, verdankt bekanntlich ihre Entstehung einerseits der Anziehung, welche Mond und Sonne auf die beweglichen Theile der Erdoberfläche ausüben, andererseits aber der Axendrehung der Erde.

Die abwechselnde Erhebung und Senkung des allgemeinen Wasserspiegels, das Fluthen und Ebben des Meeres, lässt sich mit dem Steigen und Fallen eines unter dem Einflusse der Erdanziehung schwingenden Pendels vergleichen.

Ein solches Instrument, das fortwährend einen, wenn auch noch so geringen, Widerstand erleidet — ein sog. physisches Pendel — nimmt entweder in seinen Excursionen beständig ab, oder es bedarf, wenn es gleichförmig fortschwingen soll, einer beständigen, dem Widerstande entsprechenden Zufuhr von lebendiger Kraft.

Eine solche Zufuhr wird bei den Pendeluhren durch ein aufgewundenes Gewicht oder durch eine gespannte Feder erzielt. Die bewegende Kraft, welche zum Heben des Gewichtes oder zur Spannung der Feder verbraucht wird, und welche nun in dem gehobenen Gewichte oder der gespannten Feder repräsentirt ist, bewältigt eine Zeit lang die vorhandenen Widerstände und bewirkt dadurch einen gleichmässigen Gang des Pendels und der Uhr. Dabei sinkt aber das Gewicht herunter, oder die Feder spannt sich ab, und es muss daher die Uhr unter einem Aufwande von bewegender Kraft von neuem aufgezogen werden, oder sie steht stille.

Das Gleiche gilt im Wesentlichen auch von der Ebbe und Fluth. Indem sich die bewegten Wassertheile unter sich und an ruhenden Wassertheilen, an den Meeresufern und an der Atmosphäre reiben, erfahren sie einen beständigen Widerstand und würden in kurzer Zeit zur Ruhe kommen, wenn nicht durch eine lebendige Kraft die vorhandenen Widerstände alle-

zeit wieder von neuem überwältigt würden. Diese lebendige Kraft, deren Abnahme und endliche Erschöpfung durch die vorhandene Action bedingt wird, ist der Rotations-Effect der Erde.

In der Erregung von Ebbe und Fluth liegt also ein Grund zu einer Verminderung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde.

Dieser wichtige Satz lässt sich auf verschiedene Arten beweisen.

Durch den Einfluss der Mond- (und Sonnen-) Anziehung wird das Gleichgewicht der beweglichen Theile auf der Erdoberfläche gestört, so dass die Gewässer des Meeres gegen den Punkt, oder den Meridian hinstreben, über und unter dem der Mond culminirt. Hätten die Wassertheile eine vollkommene und widerstandlose Beweglichkeit, so würden die Gipfel des obern und untern Fluthberges genau in den Meridian fallen, in welchem der Mond steht, und es würde unter diesen Umständen keine lebendige Kraft verbraucht. Da aber in der Wirklichkeit die Wassertheile einen Widerstand in ihrer Bewegung erfahren, so wird dadurch eine *Verspätung* der Fluth herbeigeführt, so dass in hoher See durchschnittlich erst ohngefähr 2½ Stunden nach dem Durchgange des Mondes durch den Meridian eines Ortes hohes Wasser eintritt.

Während die Gewässer von Ost und von West dem unter dem Monde gelegenen Meridiane zustreben, der Wasserstand aber aus dem genannten Grunde im Osten allezeit höher ist, als im Westen, so muss das Meerwasser nothwendig ungleich stärker von Ost nach West, als von West nach Ost drängen und fliessen. Die Ebbe und Fluth besteht also nicht allein in einem abwechselnden Steigen und Sinken der Wassertheile, sondern auch in einem, wiewohl langsamen, Fortschreiten der Gewässer von Ost nach West. Die Ebbe und Fluth bewirkt einen allgemeinen Weststrom des Oceans.

Da die Richtung dieser Strömung der Erd-Rotation gerade

entgegengesetzt ist, so übt das Meerwasser durch die aller Orten stattfindende Reibung und durch den Stoss gegen die festen Wandungen des Meeres einen beständigen Widerstand gegen die Umdrehungsbewegung der Erde aus und vermindert dadurch die lebendige Kraft dieser Bewegung.

Die Erde spielt hier die Rolle eines Schwungrades. Die beweglichen Theile auf der Oberfläche werden, da sie an dem relativ feststehenden Monde gewissermassen adhäriren, in einer der Erd-Rotation entgegengesetzten Richtung fortgezogen, wodurch einerseits zwischen den festen und flüssigen Theilen dieses Schwungrades Actionen hervorgerufen und Widerstände überwältigt werden, andererseits aber der gegebene Rotations-Effect nothwendig eine entsprechende Verminderung erfährt.

Man hat die durch die Gezeiten hervorgerufenen Meeresströmungen zum Betriebe von Wasserrädern benützt. Solche Werke unterscheiden sich auf eine merkwürdige Weise von den gewöhnlichen Flussmühlen, indem diese die lebendige Kraft, mit der sie arbeiten, dem strahlenden Effecte der Sonne, jene aber dem Rotations-Effecte der Erde zu verdanken haben.

Verschiedene Ursachen tragen dazu bei, die Gewässer des Oceans in einer immerwährenden, theils undulirenden, theils fortschreitenden, Bewegung zu erhalten. Ausser dem so eben erwähnten Einflusse des Mondes und der Sonne auf die rotirende Erde gehört insbesondere der Einfluss hieher, den die Bewegungen der untersten Luftschichten auf die Meeresoberfläche ausüben; ferner die verschieden grosse Erwärmung des Meerwassers in den verschiedenen Zonen; endlich ist auch noch die Configuration der Beckenwandungen, des Meeresgrundes und der Küsten, von mannigfaltigem Einflusse auf die Geschwindigkeit, die Richtung und die Ausdehnung der Meeresströmungen.

Auch die in der elastisch-flüssigen Hülle unseres Planeten stattfindenden Bewegungen setzen, ebenso wie die Bewegun-

gen der Gewässer, das Vorhandenseyn und den Verbrauch einer lebendigen Kraft voraus, wodurch die allezeit vorhandenen Widerstände überwältigt und einem Gleichgewichtszustande oder einem Zustande der Ruhe entgegengewirkt wird. Es kann aber die zur Erregung der Luftströmungen erforderliche Arbeit im allgemeinen selbst wieder dreifachen Ursprungs seyn. Sie kann entweder von dem strahlenden Effecte der Sonne, oder von der ausströmenden inneren Erdwärme, oder endlich von dem Rotations-Effecte der Erde herrühren.

Unter diesen Ursachen kommt in quantitativer Hinsicht der Sonne eine bei weitem überwiegende Bedeutung zu. Nach den Messungen *Pouillet's* erhält nemlich (siehe oben Cap. III.) ein Quadrat-Meter Erdoberfläche durchschnittlich in einer Minute 4,408 Wärmeeinheiten von der Sonne. Da nun (siehe oben Cap. II.) eine Wärmeeinheit einer mechanischen Arbeit von 367 Kilogrammetern äquivalent ist, so kommt auf ein Quadrat-Meter Erdoberfläche eine Arbeitszufuhr von 1620 Km. per Minute, oder in der nemlichen Zeit auf die ganze Erde eine Zufuhr von 825 000 Billionen Km. Eine Arbeit = 75 Km. per Sekunde pflegt man eine Pferdekraft zu nennen. Hiernach wäre der Effect der Sonnenstrahlen nach mechanischer Arbeit berechnet für ein Quadrat-Meter Erdoberfläche = 0,36, und der Totaleffect für die ganze Erde = 180 Billionen Pferdekräfte. Ein nicht unerheblicher Theil dieser enormen Quantität von lebendiger Kraft wird zur Hervorbringung atmosphärischer Actionen verbraucht, wodurch eine Menge, zum Theil sehr lebhafter, Bewegungserscheinungen in dem Dunstkreise der Erde hervorgerufen werden.

Der grossen Mannigfaltigkeit der durch die Sonne hervorgerufenen meteorischen Processe unerachtet lässt sich doch ein einfacher Grundtypus der Luftströmungen feststellen. In Folge der ungleichförmigen Erwärmung der Erde unter den verschiedenen Breitegraden dringt nemlich allezeit die kältere und desshalb schwerere Luft der Polargegenden in einer unteren

Strömung gegen den Aequator hin, während dagegen in der Aequatorialzone die erwärmte Luft in die Höhe steigt und in einer oberen Strömung wieder gegen die Pole abfliesst, so dass auf solche Weise die Luft auf jeder Halbkugel einen förmlichen Kreislauf beschreibt.

Diese Luftströmungen werden aber bekanntlich durch die Axendrehung der Erde wesentlich modificirt, so dass die vom Pole gegen den Aequator fliessende Luft vermöge der ihr eigenthümlichen geringeren Rotations-Geschwindigkeit eine der Umdrehung der Erde entgegengesetzte, von Ost nach West gehende, die vom Aequator gegen die Pole hinziehende Luft aber im Gegentheile eine der rotirenden Erde vorauseilende, von West nach Ost gehende Bewegung erhält. Durch die erstere dieser Strömungen, durch die östlichen Winde, muss nun offenbar der Rotations-Effect der Erde vermindert, durch die letztere aber, oder durch die westlichen Winde, vermehrt werden. Das Gesammt-Resultat dieser entgegengesetzten Einflüsse ist aber nach bekannten mechanischen Principien für die Axendrehung der Erde mathematisch genau $= 0$, so dass diese Strömungen zusammen, weil sie sich gegenseitig das Gleichgewicht halten, auf die Axendrehung der Erde nicht den geringsten Einfluss äussern können. Dieser wichtige Satz ist von ***Laplace*** durch einen in das Einzelne gehenden Calcul bewiesen worden.

Das nemliche Gesetz gilt aber auch ganz allgemein für jede denkbare Action, sey es in der Luft, sey es zu Wasser, oder auf dem Lande, die durch den strahlenden Effect der Sonne, oder auch durch die aus dem Innern der Erde zur Oberfläche gelangenden Wärme hervorgerufen wird. Jede einzelne, auf solche Art erregte Bewegung, wenn sie auch für sich allein einen Einfluss auf die Erdrotation ausüben würde, wird durch eine correspondirende, aber in entgegengesetzter Richtung wirkende, Bewegung genau compensirt, so

dass die Summe aller dieser Wirkungen, oder die sogenannte resultirende Mittelkraft, für die Erdrotation immer = 0 bleibt.

Bei denjenigen Actionen aber, die man unter dem Namen der Ebbe und Fluth begreift, findet eine solche Compensation nicht statt; denn der diese Actionen erregende Druck oder Zug ist allezeit vorherrschend von Ost nach West gerichtet, so dass, wenn auch die durch diesen Druck hervorgerufenen Strömungen in verschiedenen Richtungen hin und her fluthen, doch allezeit die der Erdrotation *entgegengesetze* Richtung die überwiegende ist.

Die Geschwindigkeit der durch die Ebbe und Fluth der Atmosphäre bewirkten Luftströmung beträgt nach *Laplace's* Berechnung nicht weiter als 75 Millimeter in einer Sekunde, oder nahe eine geogr. Meile in 24 Stunden, woraus man leicht sieht, dass diese Action im allgemeinen durch die weit ausgezeichneteren Wirkungen der Sonnenwärme für den Beobachter verwischt werden muss. Was aber den Einfluss dieser Luftströmung auf den Rotations-Effect der Erde betrifft, so ist derselbe nach den Gesetzen der Mechanik nichtsdestoweniger gerade eben so stark, als ob von der Sonne aus die Atmosphäre in völliger Ruhe gelassen würde.

Aus demselben Gesichtspunkte sind auch die combinirten Bewegungen von Luft und Wasser zu betrachten. Denkt man sich nemlich die Einwirkung der Sonne und der inneren Erdwärme auf diese beweglichen Medien als nicht vorhanden, so bleibt doch noch eine von Ost nach West gehende Strömung des Meeres wie der Luft übrig, wodurch die Axendrehung der Erde ein Hinderniss erfährt.

In der That ist, wie bekannt, die vorzugsweise von Ost nach West gerichtete Bewegung des Meerwassers durch Beobachtung längst constatirt. Dass aber die mit Mond und Sonne fortschreitenden Gezeiten unter den Ursachen dieses allgemeinen Weststromes auf eine erhebliche Weise mitwirken, dies ist eine ausgemachte Sache.

Ausser der Ebbe und Fluth können nemlich zu dieser beobachteten allgemeinen Strömung des oberflächlichen Meerwassers von Ost nach West nur die unteren, in der nemlichen Richtung gehenden Luftströmungen, namentlich also die in den Tropengegenden fast ununterbrochen wehenden Passatwinde, beitragen. Die westliche Strömung des Oceans ist aber keineswegs auf die Region dieser östlichen Winde beschränkt. Man findet diese Meeresströmung in der zwischen den Passaten liegenden Gegend der Windstillen, wo sie eine mehrere Meilen täglich betragende Geschwindigkeit besitzt; man findet sie weit über das Gebiet der Passatwinde hinaus, gegen Nord und Süd, in Gegenden, wo Westwinde häufig, oft vorherrschend, wehen, am Cap der guten Hoffnung, in der Magellanischen Meerenge, im nördlichen Polarmeere u. s. f.

Eine dritte, zu einer allgemeinen Meeresströmung noch mitwirkende Ursache ist die ungleichförmige Erwärmung des Meerwassers in den verschiedenen Zonen. Nach hydrostatischen Gesetzen muss nemlich das kältere Wasser der höheren Breitegrade gegen den Aequator, und das wärmere Wasser des Aequators, so weit es nicht, was aber hier kaum in Betracht kommt, verdampft, gegen die Pole hinfliessen, wodurch im Wasser ein ähnlicher Kreislauf wie in der Atmosphäre hervorgebracht wird. Aus diesem Grunde ist ein kalter, unterer, vom Pol gegen den Aequator gerichteter, und ein wärmerer, oberflächlicher, vom Aequator gegen den Pol hinfliessender, Strom vorhanden. Die Wassertheile dieses letzteren Stromes müssen aber, ihrer grösseren Rotations-Geschwindigkeit wegen, die sie von der Linie mitbringen, eine Richtung von West nach Ost annehmen, und so liegt denn in den Temperaturverhältnissen der Erdoberfläche ein Grund zu einer vorherrschend west - östlichen Bewegung der oberflächlichen Wassertheile. Dass aber nichts destoweniger in Wirklichkeit die Bewegung des Oceans im Ganzen eine entgegensetzte Richtung hat, dies

ist ein sprechender Beweis von dem überwiegenden Einflusse der Gezeiten.

Da sich also aus Theorie und Erfahrung übereinstimmend ergibt, dass durch den Einfluss des Mondes auf die rotirende Erde eine fortschreitende, von Ost nach West gehende, Bewegung der tropfbar- und elastisch-flüssigen Hüllen des Planeten hervorgerufen wird, die durch keine entgegengesetzte Action eine Compensation erleidet, so folgt, dass diese Strömung eine fortwährende Abnahme des Rotations-Effectes der Erde bewirken muss. —

Dieser anhaltende, der Erdrotation entgegengesetzte Druck, den die Ebbe und Fluth ausübt, lässt sich auch aus statischen Gesetzen ableiten.

Durch die Gravitation des Mondes werden nemlich alle Massentheile der Erde ohne Ausnahme afficirt. Denkt man sich nun den Erdkörper durch die Ebene des Meridians, in welchem der Mond gerade steht, in zwei Halbkugeln, eine östliche und eine westliche, abgetheilt, so sieht man, dass der Mond durch seine Anziehung auf die eine, östliche, Halbkugel die Umdrehung der Erde zu verlangsamen —, durch die Anziehung auf die andere, westliche Halbkugel aber zu beschleunigen strebt.

Unter gewissen Bedingungen compensiren sich beide entgegengesetzte Tendenzen, womit die Einwirkung der Mondanziehung auf die Erdrotation zu Null wird. Dies geschieht, wenn beide Hemisphären auf eine gewisse Weise symmetrisch geordnet, oder auch, wenn alle Massentheile der Erde unveränderlich mit einander verbunden sind, in welch' letzterem Falle durch die Rotation eine Art von Symmetrie hergestellt wird.

Dreierlei Ursachen bedingen nun in der Wirklichkeit eine Abweichung der Erde von der völlig symmetrischen Kugelgestalt: 1) die Abplattung an den Polen, 2) die Gebirge und 3) die Ebbe und Fluth. Die beiden ersten Ursachen geben keinen Grund zur Aenderung der Umdrehungsgeschwindigkeit

der Erde ab. Um sich aber den Einfluss, den die Ebbe und Fluth in dieser Hinsicht ausübt, deutlich zu machen, kann man sich die Erde als eine vollkommen symmetrische, mit Wasser gleichförmig bedeckte, Kugel vorstellen. Durch die Anziehung des Mondes und der Sonne wird das Gleichgewicht in dieser Wassermasse gestört und die Erdkugel in ein längliches Sphäroid umgewandelt, indem sich auf der Kugel zwei flache Wasserberge erheben, wovon der eine, der obere Fluthberg, dem Monde zugekehrt, der andere, der untere Fluthberg, von demselben abgewendet ist. Eine durch die Gipfel beider Fluthberge gezogene gerade Linie heisst die grosse Axe dieses Erd-Sphäroids.

Die so gestaltete Erde kann man sich in drei Theile zerlegt denken, in eine kleinere mittlere Kugel, und in zwei auf entgegengesetzten Seiten dieser Kugel angelegten Kugelabschnitte, die beiden Fluthberge. Da durch die Anziehung, welche der Mond auf die in der Mitte gelegene Kugel äussert, in Bezug auf die Rotations-Verhältnisse nichts geändert wird, so ist nur noch der Einfluss in Betracht zu ziehen, den die Mondanziehung auf die beiden Fluthberge allein ausübt. Der obere, dem Monde näher gelegene, Fluthberg wird, da seine Masse zum grösseren Theile vom Monde östlich gelegen ist, nach Westen, der untere Fluthberg, welcher nach Westen liegt, wird nach Osten hingezogen. Seiner grösseren Nähe wegen wird aber der obere Fluthberg nicht allein *stärker* angezogen, sondern er bietet auch für die seitliche Ablenkung einen günstigeren Angriffswinkel dar, als der untere Fluthberg, so dass der Druck von Ost nach West des oberen Fluthberges den von West nach Ost des unteren Fluthberges *überwiegt,* und zwar verhalten sich diese Grössen, wie die Berechnung lehrt, nahe wie 14 : 13. Aus der Stellung also, welche die beiden Fluthberge gegen den Mond einnehmen, oder aus der unveränderlichen Lage der grossen Axe des Erdsphäroids gegen den Schwerpunkt des Mondes, resultirt ein überwiegend von Ost

nach West gehender Druck, welcher der Umdrehung der Erde ein Hinderniss entgegensetzt.

Will man die Gravitation mit der magnetischen Anziehung vergleichen, so wird die Erde zu einem Magnetstabe, dessen stärker angezogener Pol durch den oberen, dessen schwächerer, oder relativ zum neutralen Mittelpunkte abgestossener, Pol durch den unteren Fluthberg dargestellt ist. Indem nun der obere Fluthberg dem Monde sich zuzukehren strebt, verhält sich die Erde wie eine aus ihrem magnetischen Meridiane gebrachte Boussole, die um in denselben zurückzukehren, beständig einen seitlichen Druck ausübt. —

Vorstehende einfache Darlegung mag genügen, um den Einfluss, den der Mond auf die Umdrehung der Erde ausübt, nachzuweisen. Zur quantitativen Bestimmung des aus der Ebbe und Fluth resultirenden verzögernden Druckes ist ein mechanischer Calcul erforderlich, der im Wesentlichen denselben Weg einzuschlagen hat, wie die Untersuchungen über die Nutation der Erdaxe und die Präcession der Tag- und Nachtgleichen. Da aber die vielgestaltige Vertheilung von Land und Wasser, die ungleichförmige und unbekannte Tiefe des Meeres und die für das offene Meer noch nicht genau erforschte mittlere Zeitdifferenz zwischen der Culmination des Mondes und dem Eintreten des hohen Wassers (die an den Küsten sogen. Hafenzeit), als Funktionen in diese Rechnung eingehen, so bleibt die gesuchte Grösse ein schwer und unsicher zu bestimmendes Element.

Inzwischen kann dieser verzögernde Druck, wenn er auf den Aequator reducirt gedacht wird, auch bei den niedrigsten Positionen nicht kleiner, als 1000 Millionen Kilogramme angenommen werden. Um von einer festen Vorstellung auszugehen, sey es erlaubt, diese runde Zahl den folgenden Rechnungen beispielsweise zu unterlegen.

Da die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde unter dem Aequator 464 Meter beträgt, so beläuft sich der zur Unterhaltung

von Ebbe und Fluth stattfindende Verbrauch von mechanischer Arbeit hiernach auf 464000 Millionen Kilogrammeter in jeder Sekunde, oder auf 6000 Millionen Pferdekräfte. Der Effect von Ebbe und Fluth wäre somit etwa auf $\frac{1}{30000}$ von dem Effecte, den die Erde von der Sonne aus erhält, anzuschlagen.

Der Rotations-Effect, den die Erde vermöge ihrer Axendrehung gegenwärtig besitzt, lässt sich aus dem Volumen, aus der Masse und aus der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde berechnen. Das Volumen der Erde beläuft sich auf 2 650 686 000 Kubikmeilen, das specifische Gewicht derselben ist nach *Reich* = 5,44. Nimmt man, was der Einfachheit wegen hier geschehen mag, die Dichtigkeit der Erde als gleichförmig an, so ergibt sich aus diesen Prämissen und der genau bekannten Umdrehungsgeschwindigkeit, der gesuchte Rotations-Effect der Erdkugel = 25840 Quadrillionen Kilogrammeter. Werden hievon 2500 Jahre lang in jeder Sekunde 464000 Millionen Km. zur Ebbe und Fluth verbraucht, so wird dadurch jener ganze Effect in Summa um 36600 Trillionen Km. oder um etwa $\frac{1}{700000}$ seiner Grösse vermindert.

Bei constant bleibendem Volumen verhalten sich die Umdrehungsgeschwindigkeiten einer Kugel wie die Quadrat-Wurzeln aus den Rotations-Effecten. Hieraus folgt, dass in der angenommenen Zeit von 2500 Jahren die Tageslänge durch den Einfluss von Ebbe und Fluth um $\frac{1}{1400000}$, oder den Tag zu 86400 Sekunden berechnet, um $\frac{1}{16}$ Sekunde vergrössert werden müsste, falls das Volumen der Erde ein unveränderliches wäre. Ob aber diese letzte Voraussetzung in der Wirklichkeit begründet ist oder nicht, diese Frage hängt mit den Temperatur-Verhältnissen unseres Planeten zusammen, die im folgenden Capitel besprochen werden sollen. —

Auch auf den Mondlauf wirkt die Ebbe und Fluth störend zurück. Durch die stärkere Anziehung, den der obere, östlich vom Monde gelegene Fluthberg auf den Mond ausübt, wird

die Tangential-Geschwindigkeit dieses Satelliten fortwährend vermehrt und dadurch der mittlere Abstand von Mond und Erde, sowie die Umlaufszeit des Mondes, vergrössert. Diese Störung ist aber, wie die Berechnung lehrt, so unbedeutend, dass dadurch die Umlaufszeit des Mondes während der Dauer von Jahrhunderten nur um einen kleinen Bruchtheil einer Sekunde verlängert wird.

IX.

Die innere Wärme der Erde.

Ohne Zweifel hat es einmal eine Zeit gegeben, in welcher die Erde in ihrer jetzigen Grösse noch nicht bestanden hat. Dieser einfachen Annahme gemäss lässt sich die Entstehung unseres Planeten zunächst auf eine Vereinigung zuvor getrennter Massen zurückführen.

Bei einem solchen mechanischen Verbindungs-Processe von Massen zweiter Ordnung mit Massen zweiter und dritter Ordnung u. s. f., kommen die nemlichen Gesetze wieder in Anwendung, die schon in Beziehung auf die Sonne entwickelt worden sind. Es muss beim Zusammenstossen dieser Massen allezeit eine den Quadraten der Geschwindigkeiten, oder eine dem mechanischen Effecte proportionale, Wärmemenge hervorgebracht werden.

So wenig man auch im Stande ist, über die näheren Umstände der vorweltlichen Existenz der constituirenden Bestandtheile unserer Erde etwas sicheres anzugeben, so ist es doch von nicht geringem Interesse, unter Zugrundelegung möglichst einfacher Annahmen, einen Massstab zu erhalten, nach welchem die bei dem präsumirten kosmisch-tellurischen Verbin-

dungsprocesse entwickelten Wärmemengen geschätzt werden können.

Demgemäss wollen wir zunächst den Erdkörper als aus zwei Theilen entstanden betrachten, die ihre relativen Bewegungen nur durch ihre gegenseitige Anziehung erhalten haben sollen. Die ganze Masse der jetzt vereinigten Erde sey, nach Kilogrammen gezählt, = T, die beiden Theile aber seyen = T—x und = x. Das Grössenverhältniss dieser beiden Theile unter sich kann nun unendlich mannigfaltig gedacht werden. Die beiden äussersten Fälle sind die, wo entweder x im Verhältnisse zu T als unendlich klein zu betrachten ist, oder aber $x = T - x = \frac{1}{2} T$ wird. Diese beiden Fälle, welche einen Rahmen für alle denkbaren Verhältnisse der Stücke T—x und x bilden, müssen jezt etwas näher erörtert werden.

Es sey zuerst x im Verhältnisse zu T — x oder zu T unendlich klein, so ist, da ein Herabfallen von terrestrischen Höhen bei der vorliegenden Betrachtung zum voraus ausgeschlossen bleibt, die Endgeschwindigkeit, mit der x, sey es nun nach einem geradlinigen Herabfallen aus grosser Ferne, oder nach stattgehabter Centralbewegung um die Erde, auf der Erdoberfläche ankommt, den im 4. Cap. in Beziehung auf die Sonne entwickelten Gesetzen gemäss, in ein Cadre von 7908 bis 11183 Meter eingeschlossen. Der diesem Vereinigungs-Processe entsprechende Wärme-Effect beträgt, je nach dem Werthe, den die grosse Bahnaxe von x hat, zwischen 8685 × x und 17370 × x Wärmeeinheiten. Da aber x im Vergleiche mit T der Annahme gemäss unendlich klein ist, so verschwindet die auf solche Weise producirte Wärme spurlos bei ihrer Ausbreitung auf die Erdmasse.

Mit der Zunahme von x wächst aber die Quantität der Verbindungswärme, und für den als zweiten Fall angenommenen Werth $x = \frac{1}{2} T$ beträgt die entwickelte Wärme zwischen 6000 × T und 8685 × T Wärmeeinheiten.

Setzt man die Wärme-Capacität der Erde gross, nemlich nach dem Volumen berechnet = der des Wassers, oder nach dem Gewichte berechnet = 0,184, so ergibt sich aus dem Bisherigen, dass die Differenz zwischen der ursprünglichen Temperatur der constituirenden Theile und der resultirenden Temperatur der vereinigten Erde, oder die Quantität der mechanischen Verbindungs-Wärme, je nach der relativen Grösse jener Theile &c., von 0 bis 32000° und selbst bis 47000° C. habe betragen können!

Bei einer Vereinigung von mehr als zwei Theilen würde mit der Zahl dieser Theile auch die Grösse der Wärmeproduction noch zugenommen haben. Noch weit grösser müsste aber die Wärmeentwicklung gewesen seyn, wenn die unsern Planeten constituirenden kosmischen Massen vor ihrer Verbindung in *getrennten* Bahnen um die Sonne sich bewegt und durch eine gleichsam zufällige Begegnung einander getroffen hätten. Inzwischen hat diese letztere Annahme aus verschiedenen Gründen die Wahrscheinlichkeit gegen sich. —

Viele Thatsachen deuten darauf hin, dass die ganze Erdmasse früher in feurig-flüssigem Zustande sich befunden hat und allmälig von ihrer Oberfläche aus, und zwar bis jetzt zu einer verhältnissmässig nur geringen Tiefe, erkaltet ist.

Die Gestalt der Erde liefert hiefür den ersten Beweis. „Die Gestalt der Erde ist ihre Geschichte.“ Nach den sorgfältigsten Messungen besitzt nemlich die Erde genau diejenige an ihren Polen abgeplattete Kugelform, die einer flüssigen Masse von der Umdrehungsgeschwindigkeit unserer Erde zukommt, woraus sich mit grosser Sicherheit schliessen lässt, dass die Erde zu jener Zeit, als sie ihre Axendrehung erhielt, flüssig gewesen seyn muss. Dass aber dieser flüssige Zustand nicht durch wässrige Auflösung, sondern nur durch schmelzendes Feuer bedingt gewesen seyn konnte, dieses darf wohl jetzt, nach lange gepflogenem Streite, als ausgemachte Sache betrachtet werden.

Auch der Wärmezustand der Erdrinde beweist noch heute die im Innern der Erde herrschende Hitze. Durch viele genaue Versuche und Messungen ist die mit der Tiefe zunehmende Wärme der Erdrinde längst als thatsächlich constatirt. So fand man z. B. bei Bohrung des 546 Meter tiefen artesischen Brunnens zu Grenelle für je 30 Meter Tiefe eine Zunahme von 1° Wärme. Die gleiche Temperatur-Zunahme wurde bei dem 671 Meter tiefen artesischen Brunnen zu Mondorf im Luxemburgischen gefunden, dessen Wasser 34° hat, und der mithin, wie der Brunnen zu Grenelle, als wahre Therme zu betrachten ist.

Die heissen Quellen alle sind handgreifliche Beweise von der in der Tiefe herrschenden hohen Temperatur. Die Sachverständigen sind darüber einig geworden, dass die wässrigen Niederschläge aus der Atmosphäre, der Regen, Thau, Hagel, Schnee, die einzigen Ursachen der Quellenbildung sind. Das meteorische Wasser dringt, seiner Schwere folgend, wo es Gelegenheit findet in die Erde ein und kommt an tieferen Stellen heberartig emporsteigend als Quellwasser wieder zu Tage. Wenn nun Wasser durch senkrechte Felsenspalten in bedeutende Tiefen hinabgelangt, so eignet es sich die dort herrschende Temperatur an und kehrt erwärmt zur Oberfläche der Erde zurück.

Häufig unterscheiden sich solche Wasser durch nichts als durch ihren Wärmegehalt von gewöhnlichen Quellen. Hat aber das Wasser Gelegenheit, entweder mineralische Bestandtheile in der Tiefe aufzulösen, oder auch arzneylich wirksame Pflanzenstoffe dem Humus zu entführen und sich zu bewahren, so wird es dadurch zur Thermal-Heilquelle. Beispiele von *mineralischen* Thermen sind: Aachen, Carlsbad. Beispiele von *vegetabilischen* Thermen (irrthümlich „indifferente Thermen“ genannt) Wildbad, Pfäffers u. s. w.

Noch entschiedener, als durch das heisse Wasser dieser Quellen, wird die Hitze der inneren Erde durch die aus der

Tiefe emporsteigenden feuerflüssigen Massen beurkundet. Wie schon erwähnt wurde, rechnet man etwa auf 30m Tiefe eine Temperatur-Zunahme von 1° C. Ob es nun gleich keineswegs glaublich ist, dass diese Zunahme bis gegen den Mittelpunkt der Erde hin sich erstrecke, so lässt sich doch eine solche Zunahme für eine immerhin beträchtliche Tiefe als stetig fortwachsend mit Sicherheit annehmen, woraus sich für eine Tiefe von einigen Meilen ein Hitzegrad ergibt, bei welchem die meisten Materien in geschmolzenem Zustande sich befinden müssen. Solche glühend flüssige Massen steigen an vielen Orten durch die erkaltete Erdrinde hindurch als Lava-Ströme an das Tageslicht empor. —

Ueber die Entstehung der als constatirt zu betrachtenden inneren Erdwärme hat sich ein verdienter Naturforscher in der neuesten Zeit auf folgende Weise geäussert:

„Es kann sich allerdings Niemand auf die letzten Ursa-
„chen aller Dinge einlassen. Aber soviel sieht jeder Den-
„kende ein, dass ebenso viel Grund dazu da ist, dass ein
„Körper, wie z. B. die Erde, warm, d. h. wärmer als ge-
„frorenes Wasser oder menschliches Blut sey, als dass er
„kalt oder vielmehr kälter als jene sey. Eine besondere
„Ursache dieser absoluten Wärme ist eben so wenig nöthig,
„als eine Ursache der Bewegung oder Ruhe. Nur die Stö-
„rung, d. h. der Uebergang von einem Verhältnisse in das
„andere, fordert und gewährt Erklärungen.“

Offenbar ist diese Meditation nicht geeignet, das Bedürfniss nach einer Erklärung der fraglichen Erscheinung abzuschneiden, denn da jede Materie das Bestreben hat, ihre Temperatur mit der ihrer Umgebung in das Gleichgewicht zu setzen und im Zustande der Ruhe sofort zu beharren, so ist man überall, wo eine Materie höher temperirt, als ihre Umgebung gefunden wird, zu schliessen berechtigt und genöthigt, dass hier vor einer relativ nicht allzulangen Zeit eine Erwärmung

statt gefunden haben muss, — ein Process, der allerdings eine Erklärung gewährt und fordert.

Die *Newton*'sche Gravitations-Theorie, welche uns aus der jetzigen Gestalt der Erde ihren ursprünglichen Aggregat-Zustand erkennen lässt, lehrt uns zugleich die Wärmequelle kennen, welche stark genug war, um einen solchen Aggregat-Zustand herbei zu führen, stark genug, um Weltkörper zu schmelzen; sie lehrt uns den feuerflüssigen Zustand eines Planeten als das Resultat der mechanischen Verbindung kosmischer Massen zu betrachten und sie führt somit die Wärme im Bauche der Erde und das Strahlen der Sonne auf einen homogenen Process zurück.

Auch der Rotations-Effect der Erde lässt sich auf eine ungezwungene Weise von dem Zusammenstossen der die Erde constituirenden kosmischen Massen herleiten, und es wäre hiernach die lebendige Kraft dieser Axendrehung vom Gesammt-Effecte des mechanischen Verbindungsprocesses zu subtrahiren, wo dann der Rest die Quantität der entwickelten freien Wärme ausdrücken würde. Inzwischen stellt der Rotations-Effect gegenüber der innern Erdwärme nur eine unerhebliche Grösse dar. Es beträgt nemlich der Rotations-Effect, unter der Annahme einer gleichförmigen Dichtigkeit der Erde, etwa $4400 \times T$ Kilogrammeter (wo wiederum T das Gewicht der Erde in Kilogrammen ausgedrückt bedeutet) welches nicht weiter als $12 \times T$ Wärmeeinheiten äquivalent ist.

Stellt man sich vor, der Mond werde im Laufe der Zeiten durch den Einfluss eines widerstandleistenden Mediums oder durch irgend sonst etwas veranlasst, mit der Erde sich zu vereinigen, so lassen sich zwei Hauptwirkungen einer solchen Katastrophe unterscheiden. Durch die lebendige Kraft des Zusammenstossens würde die ganze Masse des Mondes und die erkaltete Erdrinde um mehrere tausend Grade erhitzt und die Erde mithin von einem Feuer-Oceane allenthalben umfluthet. Zugleich würde aber auch die Umdrehungsgeschwindig-

keit der Erde etwas beschleunigt und die Lage der Erdaxe bezüglich zum Firmamente und zur Erdoberfläche etwas, jedoch nicht bedeutend, verändert. Wäre aber die Erde zuvor kalt und ohne Umdrehung, so würde sie durch den Verbindungsprocess mit dem Monde sowohl Wärme als Rotations-Effect, ihrem dermaligen Zustande conform, erhalten.

Wahrscheinlich haben, bis die Erde zu ihrer jetzigen Grösse herangewachsen war, wiederholte Vereinigungsprocesse statt gefunden, und es mögen zum Theil unbeschreiblich üppige Vegetationen durch solche Massen-Conflicte unter glühendem Schutte begraben worden seyn.

So lange die Erdoberfläche noch im Zustande des Glühens sich befunden hatte, musste die Abkühlung in raschem Fortschreiten begriffen gewesen seyn; allmälig musste aber die Abkühlungsgeschwindigkeit mehr und mehr abnehmen, und es ist somit klar, dass dieselbe zwar bis auf den heutigen Tag noch nicht ganz aufgehört haben kann, dass sie aber zu einem verhältnissmässig geringen Werthe herabgesunken seyn muss.

Durch die Abkühlung der Erde werden zweierlei Erscheinungen bedingt, die ihrer gemeinschaftlichen Quelle wegen wieder unter sich aufs engste verknüpft sind. Einerseits muss in Folge der Zusammenziehung der erkaltenden Erdschichten die Erd-Oberfläche der Schauplatz vieler Gleichgewichtsstörungen, vieler grossartiger Revolutionen seyn und feurig-flüssige Massen müssen mit unermesslicher Gewalt aus der Tiefe zu Gebirgen emporquellen; andererseits muss die Umdrehungsgeschwindigkeit der Kugel nach bekannten Gesetzen der Mechanik in dem Masse wachsen, als das Volumen der Kugel abnimmt, d. h. die Tageslänge muss sich durch die Abkühlung der Erde verkürzen.

Da demzufolge die Stärke der Erderschütterungen und die Grösse der Umdrehungsgeschwindigkeit der Kugel in engem Zusammenhange steht, so ist klar, dass der Vorzeit eine fortwährend stürmische Umgestaltung der Erdrinde und zugleich eine merkliche Beschleunigung der Axendrehung entspricht, während dass der Jetztzeit eine viel langsamere Metamorphose der Oberfläche und eine sehr geringe Umdrehungsbeschleunigung zukommt.

Versetzen wir uns im Geiste in jene Zeiten zurück, in welchen die Alpen, die Kette der Andes und der Pic von Teneriffa aus der Tiefe gehoben wurden, und vergleichen wir damit die Erderschütterungen und vulkanischen Eruptionen der historischen Zeiten, so sehen wir leicht, dass die neueren Umgestaltungs-Processe nur ein schwaches Abbild früherer analoger Vorgänge sind.

Während wir von bleibenden Denkmälern ehemaliger höchst gewaltsamer vulkanischer Umgestaltungen überall umgeben sind, so fehlt uns dagegen von der Umwälzungsgeschwindigkeit, die unser Planet in den antediluvianischen Zeiten hatte, jede Kunde. Um so wichtiger ist es, eine etwaige Veränderung dieser Umdrehungsgeschwindigkeit oder der Tageslänge im Laufe der historischen Zeiten möglichst genau zu kennen. Eine solche Untersuchung, von dem grossen ***Laplace*** angestellt, bildet einen Glanzpunkt im Gebiete der exacten Naturforschung.

Bei diesen Berechnungen wird im wesentlichen auf folgende Weise verfahren: zunächst wird der zwischen zwei weit auseinander gelegenen Sonnenfinsternissen befindliche Zeitraum bis auf einen möglichst genauen Bruchtheil nach Tagen gezählt und hieraus das Verhältniss zwischen der Umdrehungszeit der Erde und der mittleren Umlaufszeit des Mondes bestimmt. Vergleicht man sofort die von den ältesten Astronomen hinterlassenen Beobachtungen mit denen der Gegenwart, so lässt sich die geringste Veränderung der absoluten Länge des Tages durch eine Aenderung jenes Verhältnisses oder durch eine

Störung des Mondlaufes wahrnehmen. Aus der vollkommen genauen Uebereinstimmung der uns aus alten Zeiten überlieferten Nachrichten über den Mond- und Planetenlauf, über Sonnenfinsternisse u. s. f. hat aber *Laplace* die höchst merkwürdige Thatsache aufgefunden, dass im Laufe von 25 Jahrhunderten die Umdrehungszeit der Erde sich nicht um den fünfhundertsten Theil einer Sexagesimal-Sekunde verändert hat, mithin die Länge des Sterntages seit den historischen Zeiten als völlig constant zu betrachten ist.

Dieses für die Astronomie ebenso wichtige als bequeme Resultat war nichtsdestoweniger geeignet, den Physikern Verlegenheit zu bereiten. Mit scheinbar gutem Grunde wurde nemlich von dem Constant-bleiben der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde unmittelbar auf eine entsprechende Unveränderlichkeit ihres *Volumens* geschlossen. Da die Erde zu einer Umdrehung 86400 Sekunden Sternzeit bedarf, diese Grösse aber seit 2500 Jahren nicht um $\frac{1}{500}$ Sekunde, oder um $\frac{1}{43}$ Millionentheil eines Tages, sich verändert hat, so schien daraus hervorzugehen, dass während dieses ganzen Zeitraumes auch der Erdhalbmesser bis auf diesen Bruchtheil seiner Grösse hin sich gleich geblieben seyn müsse. Die Länge des Erdradius beträgt 6 369 800 Meter; demnach sollte die Verkürzung desselben in der angegebenen Zeit keine 15 Centimeter betragen haben.

Die durch die Abkühlung der Erde bedingte Volumensverminderung derselben steht aber mit den Revolutionen auf der Erdoberfläche in nothwendigem Zusammenhange. Wenn man nun erwägt, dass kaum ein Tag vergeht, an welchem nicht da oder dort Erderschütterungen stattfinden, und dass von ungefähr 300 noch thätigen Land-Vulkanen immerwährend einige im Ausbruche begriffen sind, so wird man eine solche ununterbrochen fortdauernde und noch immer lebhafte Reaction des Innern der Erde gegen ihre Rinde mit einer völligen Unveränderlichkeit ihres Volumens nicht gut vereinbar finden.

Bei diesem Conflicte, in welchen *Cordier's* Theorie von dem Zusammenhange der Abkühlung und der Erschütterung der Erde mit der die Unveränderlichkeit der Tageslänge constatirenden Rechnung von *Laplace* scheinbar gerieth, und bei der unbezweifelbaren Richtigkeit dieser Rechnung, haben sich die meisten Naturforscher veranlasst gesehen, jene Theorie ganz fallen zu lassen, wodurch sie sich aber natürlich jede wissenschaftlich haltbare Erklärung der vulkanischen Erscheinungen abgeschnitten haben.

Eine fortlaufende Abkühlung des Erdkörpers ist ein durch die Naturgesetze bedingter Process, der sich auf keine Weise in Abrede ziehen lässt, da sich die Erde in dieser Beziehung unmöglich anders als irgend eine andere, wenn auch noch so kleine Masse verhalten kann. Die Erde muss unerachtet der ihr von der Sonne zugeführten Wärme so lange eine Abkühlungs-Tendenz besitzen, als die Temperatur in ihrem Innern die mittlere Temperatur ihrer Oberfläche übertrifft. Die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte mittlere Temperatur beträgt aber im Maximum, oder zwischen den Tropen, etwa 28° und es vermag also die Sonne der Abkühlungs-Tendenz der Erde ebensowenig das Gleichgewicht zu halten, als die in einem geheizten Zimmer befindliche mässige Wärme eine dort aufgehangene glühende Masse zu hindern vermag, ihre Temperatur mit der der Umgebung auszugleichen.

Viele Erscheinungen, z. B. das Schmelzen des Gletschereises vom Boden aus, beurkunden diese ununterbrochene Strömung der Erdwärme von innen nach aussen, und es fragt sich jezt: beträgt der Wärmeverlust, den die Erde seit 20 bis 25 Jahrhunderten erlitten hat, wirklich so wenig, dass der Erdhalbmesser bei einer Länge von mehr als sechs Millionen Meter dadurch noch nicht um 1½ Decimeter verkürzt worden ist?

Bei Beantwortung dieser Frage kommen dreierlei Momente in Rechnung: 1) die absolute Wärmemenge, welche die Erde in einer gewissen Zeit, z. B. in einem Tage, verliert. 2) Die

Wärme-Capacität der ganzen Erdmasse und 3) der Ausdehnungs-Coëfficient dieser Masse für die Wärme.

Da eine directe Messung bei keiner dieser Grössen gestattet ist, so bleibt nichts übrig, als sich mit Schätzungen zu begnügen, die um so eher auf einiges Gewicht Anspruch machen können, je weniger sie zu Gunsten einer vorgefassten Meinung angestellt werden.

Zieht man von dem, was über die *Ausdehnung*, beziehungsweise Zusammenziehung, fester und tropfbar flüssiger Körper durch Wärme oder Kälte bekannt ist, einen Schluss auf die Grösse der linearen Zusammenziehung des Erdkörpers für 1° Temperaturabnahme, so lässt sich diese Grösse nicht wohl kleiner als $= \frac{1}{100\,000}$ annehmen, — eine runde Zahl, bei der wir um so mehr stehen bleiben wollen, als sich auch *Laplace*, *Arago* u. A. derselben bedient haben.

Wird ferner die *Wärme-Capacität* von allen möglichen festen und tropfbarflüssigen Körpern mit der des Wassers verglichen, so findet man die letztere, *sowohl auf das Gewicht, als auf das Volumen bezogen*, allezeit grösser als die erstere. Selbst die Gasarten fügen sich dieser Regel, mit einziger Ausnahme des Wasserstoffes, dessen Wärme-Capacität, auf das Volumen bezogen, hinter der des Wassers am weitesten zurückbleibt, dagegen auf das Gewicht bezogen dieselbe noch übertrifft. Um nun die durchschnittliche Wärme-Capacität der Erdmasse auf keinen Fall zu klein zu nehmen, soll hier dieselbe, auf das Volumen bezogen, in rundem Verhältnisse der des Wassers gleich gesetzt, oder nach dem Gewichte berechnet, wie oben = 0,184 genommen werden *.

Will man nun nach *Laplace* aus der Unveränderlichkeit

* Sowohl die Wärme-Capacität als auch der Ausdehnungs-Coëfficient der Materien nimmt im allgemeinen mit der Temperatur zu. Da aber in unserer Rechnung diese beiden Grössen in entgegengesetztem Sinne functioniren, so mag es gestattet seyn, von dem Einflusse, den die hohe Temperatur der inneren Erde auf diese Zahlen haben muss, hier einfach zu abstrahiren. Denn wenn man geltend machen wollte, dass die Wärme-Capacität der Erdmasse bei der vorhandenen hohen Temperatur 2 oder selbst 3mal grösser seyn könnte, als bei 0 bis

der Tageslänge den Schluss ziehen, dass sich seit 2500 Jahren der Erdhalbmesser durch Abkühlung nicht um $1^1/_2$ Decimeter zusammengezogen haben könne, so muss man nach den vorangeschickten Positionen annehmen, dass die mittlere Temperatur der Erdmasse in der nemlichen Zeit nicht um $\frac{1^0}{430}$ herabgegangen sey.

Der Inhalt der Erde beträgt 2650 Millionen Kubikmeilen. Eine Abkühlung dieser Masse um $\frac{1^0}{430}$ würde also der Abkühlung von 6 150 000 Kubikmeilen Wasser um 1° äquivalent seyn, was auf den Tag berechnet einen Verlust von 6,74 Wärme-Kubikmeilen gibt.

Ueber den Wärmeverlust, den die Erde erleidet, hat ***Fourier*** Berechnungen angestellt. Dieser berühmte Mathematiker findet unter Zugrundelegung der an vielen Orten festgestellten Beobachtung einer mittleren Temperaturzunahme der Erdkruste von 1° C. für 30^m Tiefe, die Wärme, welche die Erde durch einfache Fortleitung durch ihre erstarrte Rinde abgibt, so gross, dass durch dieselbe in 100 Jahren eine 3 Meter dicke, über die Erde verbreitete Eisschichte geschmolzen werden könnte, welches wie vorhin berechnet, auf den Tag 7,7 Wärme-Kubikmeilen, und in 2500 Jahren eine Halbmesserverkürzung von 17 Centimeter gibt.

Hiernach wäre also die Abkühlung der Erde schon gross genug, um bei der Frage nach der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde nicht mehr vernachlässigt werden zu dürfen.

Zugleich erhellt aber, dass man nach ***Fourier*** nur einen

100^0, so ist dagegen wieder zu berücksichtigen, dass der Ausdehnungs-Coëfficient $= \frac{1}{100\,000}$ nur für starre Massen angenommen werden kann, und für diese sogar eine Art von Minimum bildet, bei Flüssigkeiten aber bedeutend grösser ist und z. B. beim Quecksilber zwischen den festen Punkten des Thermometers das sechsfache von der angenommenen Grösse beträgt. Vorzüglich gross ist die Ausdehnung und Zusammenziehung bei denjenigen Temperatur-Graden, bei welchen ein Uebergang von einer Aggregat-Form zu einer anderen statt findet, was bei den in Erstarrung übergehenden Schichten der geschmolzenen Erdmasse noch besonders in Anschlag gebracht werden könnte.

kleinen Theil der Wärme erhält, den die Erde das Jahr hindurch verliert, denn die von demselben in Rechnung gebrachte einfache Fortleitung der Wärme durch die *terra firma* hindurch ist nicht der einzige Process, durch den eine Abkühlung des Erdkörpers bedingt wird.

Zuerst werde des meteorischen Wassers gedacht, das, soweit es zu einiger Tiefe in den Erdboden eindringt, die dort befindliche Wärme gleichsam auswascht und dadurch zur Abkühlung der Erde beiträgt. Da aber die ganze in einem Tage auf festen Boden fallende meteorische Wassermasse durchschnittlich nicht viel über eine halbe Kubikmeile Wasser angenommen werden kann, so folgt, dass der durch solches Wasser herbeigeführte Wärmeverlust bei vorliegender Rechnung kaum in Betracht kommt und dass insbesondere alle Thermen der Welt zusammengenommen hier nicht im Stande sind, ein erhebliches Gewicht in die Wagschaale zu legen.

Viel wichtiger sind die vulkanischen Erscheinungen im engeren Sinne. Denn da die durch die Thätigkeit der feuerspeienden Berge zu Tage geförderte Hitze von der inneren Erdwärme herstammt, so muss in diesen grossartigen Actionen ein wichtiges Moment zur Verminderung des gegebenen Wärme-Fonds der Erde liegen. Es kommen aber hier nicht bloss die wahren vulkanischen Ausbrüche in Betracht, die auf der Erde ununterbrochen, bald hier, bald dort, bald an verschiedenen Stellen zugleich, statt finden; auch die in zeitweiliger Ruhe befindlichen Vulkane strömen fortwährend gewaltige Mengen von Wärme aus, welche dem Innern der Erde entzogen werden. Jeder Vulkan stellt gleichsam eine der Epidermis beraubte, offene Stelle des Erdkörpers dar, wo das Innere an das Licht gekehrt ist und die Wärme desshalb frei entweicht.

Die gesammte Wärmemenge nun, welche durch so zahlreiche Wärme-Fontanellen der Erde entführt wird, darf nicht gering angeschlagen werden. Um für die Schätzung dieser Grösse einigen Anhalt zu bekommen, erinnere man sich, dass

ein feuerspeiender Berg auf Island, *Skaptar - Jökul*, im Jahre 1783 binnen sechs Wochen mit seiner Lava eine Strecke von 60 Quadratmeilen Landes im Mittel 200 Meter hoch bedeckt, oder etwa 1½ Kubikmeilen Lava ausgeworfen hat. Der Wärmeverlust, den das Innere der Erde durch diese *eine* Eruption eines einzigen Vulkanes erlitten hat, ist bei der hohen Temperatur der flüssigen Lava auf mehr als 1000 Wärme-Kubikmeilen anzuschlagen, und der ganze, aus der Summe aller vulkanischen Processe resultirende jährliche Wärmeverlust muss demzufolge durchschnittlich wohl nach tausenden von Wärme-Kubikmeilen gezählt werden. Diese letztere Zahl zu der nach *Fourier* gefundenen addirt, gibt eine Grösse, die sich offenbar nicht mehr mit der Annahme einer völligen Unveränderlichkeit des Erd-Volumens verträgt.

Bei der Untersuchung über die Abkühlung der Erde kommen aber noch besonders die Verhältnisse des mit Wasser bedeckten Theiles der Erdoberfläche in Betracht. Die Berechnung des Wärmeverlustes der Erde nach *Fourier* gründet sich auf Beobachtungen, welche über die Temperaturzunahme auf der mit Luft bedeckten *terra firma* angestellt wurden. Nun ist aber die Erde zu mehr als zwei Drittheilen mit Wasser überzogen, und es kann keineswegs *a priori* angenommen werden, dass für dieses grosse Areal der Abkühlungswerth derselben sey, wie für das feste Land; vielmehr vereinigen sich mehrere Umstände, welche glauben lassen, dass die Abkühlung vom Meeresgrunde aus durchschnittlich bedeutend rascher als auf dem Lande vor sich gehe.

Zuvörderst kommt hier in Betracht, dass der Grund des Meeres seiner Tiefe wegen dem Herde der inneren Erdwärme überhaupt näher liegt, als die Oberfläche des festen Landes, wesshalb die Temperaturzunahme, vom Grunde des Meeres an abwärts gerechnet, wahrscheinlich etwas rascher erfolgt, als auf dem Lande. Sodann ist zu beücksichtigen, dass der ganze Meeresgrund mit einer Lage von eiskaltem Wasser bedeckt ist, das sich beständig von den Polen gegen den Aequator hin-

zieht, — ein Strom, der sich auch über Sandbänke hinüber wälzt, und nach *v. Humboldt's* treffender Bemerkung die über solchen Untiefen regelmässig herrschende auffallend niedere Temperatur verursacht. Dass nun das Grundwasser des Meeres seiner niederen Temperatur und seiner ausnehmend grossen Wärme-Capacität wegen ohne Vergleich geeigneter ist, dem Boden Wärme zu entführen, als die Atmosphäre, dieses bedarf keiner weiteren Ausführung.

Es fehlt nicht an Wahrnehmungen, welche den grossen Wärmeverlust, den die Erdkugel durch ihre tropfbar-flüssige Bedeckung erleidet, direct beweisen. Zahlreiche Untersuchungen haben nemlich dargethan, dass auf einer weiten, zwischen Island, Grönland, Norwegen und Spitzbergen gelegenen, von Wallfischfängern viel befahrenen, Strecke des nördlichen Polarmeeres, zwischen 76 bis 80° n. B. und zwischen dem 15° östl. und dem 15° westl. Länge v. Gr., die Temperatur des Seewassers statt nach der allgemeinen Regel und den hydrostatischen Gesetzen gemäss mit der Tiefe abzunehmen, mit derselben vielmehr wächst. So fand z. B. *Franklin* unter dem 77° n. B. und 12° östl. L. die Temperatur auf der Meeresoberfläche $= -\frac{1^0}{2}$, in einer Tiefe von 700 Faden $= +6^0$; *Fischer* fand unter 80° n. B. und 11° östl. L. auf der Oberfläche 0° in einer Tiefe von 140 Faden + 8° u. s. w.

Da das Seewasser nicht wie das süsse Wasser seine grösste Dichtigkeit über dem Gefrierpunkte besitzt, und da ferner das Wasser unter dem 80sten Grade n. B. in einiger Tiefe wärmer gefunden wird, als 10 Grade südlicher in gleicher Tiefe, so lässt sich dieses merkwürdige Phänomen der mit der Tiefe zunehmenden Temperatur jener Gewässer auf keine Weise anders als durch eine vom Grunde ausgehende Erwärmung des Meerwassers erklären. Die Wärmemenge aber, welche dazu erforderlich ist, um das Meerwasser in einer Ausdehnung von mehr als tausend Quadrat-Meilen von unten herauf auf eine merkliche Weise zu erwärmen, muss sich auch nach der ge-

ringsten Schätzung Tag für Tag auf mehrere Wärme-Kubikmeilen belaufen.

Die nemliche Erscheinung der mit der Tiefe zunehmenden Temperatur des Wassers wurde auch in einigen andern Weltgegenden wahrgenommen; so an der Westküste Neuhollands, im adriatischen Meerbusen, im Lago Maggiore u. s w. Insbesondere verdient noch die Angabe *von Horner's* hier Erwähnung, dass im mächtigen Golphstrome an der Küste von Amerika das aus 80 bis 100 Faden Tiefe heraufgezogene Senkblei über die Siedhitze des Wassers warm zu seyn pflege.

Die angeführten Thatsachen, denen noch verschiedene andere hinzugefügt werden könnten, lassen zur Genüge erkennen, dass der Wärmeverlust, den die Erde seit den letzten 2500 Jahren erlitten hat, viel zu bedeutend ist, um in seinem Einflusse auf die Axendrehung unseres Planeten als verschwindend klein betrachtet werden zu können. Warum aber dieser beschleunigenden Ursache unerachtet die Tageslänge seit den ältesten Zeiten sich nicht vermindert hat, davon liegt der Grund einfach darin, dass die aus der Abkühlung der Erde resultirende Rotations-Beschleunigung durch einen entgegengesetzten, verzögernden Einfluss wieder aufgehoben wird. Dieser letztere besteht, wie im vorigen Capitel, auseinander gesetzt wurde, in der Anziehung von Mond und Sonne auf die flüssige Oberfläche der rotirenden Erde.

Halten wir uns wieder an die im vorigen Capitel gegebene Schätzung und Berechnung, nach welcher die dem verzögernden Druck der Ebbe und Fluth entsprechende Verlängerung des Sterntages in den letzten 2500 Jahren circa $^1/_{16}$ Sek. beträgt, so ergibt sich aus der constant gebliebenen Tageslänge, oder dem obwaltenden Gleichgewichtszustande, für die Abkühlung ein ebenso grosser Verkürzungswerth des Sterntages. Diesem letzteren entspricht eine Verkleinerung des Erdhalbmessers um $4^1/_2$ Meter (in 2500 J.) und ein täglicher Wärmeverlust von 200 Wärme-Kubikmeilen. Die Temperatur-

Verminderung der ganzen Erdmasse aber würde hiernach in diesem Zeitraume $\frac{1^0}{14}$ C. betragen haben.

Diese nicht unbeträchtliche Zusammenziehung des Erdkörpers stimmt mit den unaufhörlich stattfindenden Umänderungen der Erdoberfläche, den Erdbeben und vulkanischen Eruptionen überein, so dass wir diese Naturerscheinungen mit *Cordier*, diesem fleissigen Beobachter vulkanischer Processe, als nothwendiges Resultat der fortdauernden Abkühlung der in ihrem Innern feurig-flüssigen Erde betrachten. —

In den frühesten Zeiten des Erdlebens musste die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde wegen der raschen Abkühlung dieser damals auch auf der Oberfläche glühenden Kugel in einer merklichen Zunahme begriffen gewesen seyn. Diese Beschleunigungsursache tritt aber allmählig mehr und mehr zurück, so dass der sehr nahe gleichförmig anhaltende verzögernde Druck von Ebbe und Fluth mit der Zeit das Uebergewicht bekommt, von wo an dann die Umdrehungsgeschwindigkeit sich fort und fort wieder vermindert. Zwischen der Zunahme und der Abnahme liegt aber eine Periode des Stillstandes oder des Gleichgewichtes der entgegengesetzten Einwirkungen, und so lässt sich mithin das ganze Erdleben in drei Perioden eintheilen: in die Jugend mit wachsender —, in das mittlere Alter mit gleichbleibender —, und in das höhere Alter mit abnehmender Umdrehungsgeschwindigkeit.

Mathematisch streng genommen kann das Gleichgewicht der auf die Erdrotation entgegengesetzt influirenden Momente nur während eines ganz kurzen Zeitpunktes andauern, soferne den Augenblick vorher die Abkühlung, den Augenblick später die Ebbe und Fluth überwiegt. In physischem Sinne aber, oder nach menschlichem Maasstabe gemessen, ist der Einfluss der Abkühlung und noch mehr der von Ebbe und Fluth für einen sehr grossen Zeitraum als völlig constant zu betrachten, so dass es also auch eine durch viele Jahrtausende hindurchgehende Periode geben muss, in welcher das Verhältniss der Gleichheit beider Einwirkungen nicht der geringsten wahrnehm-

baren Veränderung unterworfen ist. In diesem Zeitraume hat der Sterntag seine kürzeste Dauer, oder die Rotations-Geschwindigkeit der Erde ihr Maximum erreicht, — ein Umstand, der nach den Gesetzen der Analysis dazu beiträgt, die Dauer dieser mittleren Periode des Erdlebens zu verlängern.

In die Periode der unveränderlichen Rotations-Geschwindigkeit fallen, wie aus der angeführten Berechnung von *Laplace* hervorgeht, die historischen Zeiten der Menschheit. Ob wir uns aber dermalen noch im Anfange, ob in der Mitte, oder am Schlusse dieser Periode befinden, diess zu entscheiden fehlen uns die Anhaltspunkte, und wir müssen daher die Beantwortung dieser Frage kommenden Geschlechtern überlassen.

Die fortschreitende Abkühlung der Erde kann nicht ohne Einfluss auf die Temperatur ihrer Oberfläche, auf das Clima, seyn, und es haben sogar Naturforscher, *Büffon* an der Spitze, die Vermuthung geäussert, das Clima unseres Planeten werde sich mit der Zeit, der zunehmenden Erkaltung der inneren Erde halber, bis zur völligen Erstarrung alles Lebens verschlimmern. Allein eine solche Befürchtung ist offenbar ganz unbegründet, da der Temperaturzustand der Erdoberfläche schon jetzt im allgemeinen weit mehr von dem Strahlen der Sonne, als von der aus der Tiefe aufsteigenden Wärme abhängt. Nach *Pouillet's* Messungen (siehe oben Cap. III.) erhält nemlich die Erde von der Sonne täglich 8000 Wärme-Kubikmeilen, wogegen die aus dem Innern der Erde auf die Oberfläche gelangende Wärme etwa auf 200 Wärme-Kubikmeilen per Tag geschätzt werden mag. Hieraus ergibt sich, dass die der Erdoberfläche von unten zufliessende Wärme der Sonnenwärme gegenüber zwar keineswegs als verschwindend klein zu betrachten ist, dass sie aber doch derselben quantitativ weit nachsteht.

Denkt man sich bei constant andauerndem Strahlen der Sonne die untere Wärmezufuhr vermindert oder abgeschnitten, so müssen daraus mancherlei Veränderungen in der physischen Beschaffenheit der Erdoberfläche resultiren. Die Temperatur

der Thermen wird allmählig bis auf die mittlere des Bodens herabgehen, die vulkanischen Eruptionen werden nach und nach erlöschen, die Erderschütterungen werden nicht mehr seyn, und die Wärme des Meerwassers wird an manchen Orten eine merkliche Verminderung erfahren, woraus sich ohne Zweifel wichtige Veränderungen in den climatischen Verhältnissen vieler Länder ergeben müssen. Insbesondere steht zu vermuthen, dass in dem bis jetzt so sehr bevorzugten westlichen Europa ein Wärmeausfall sich zu erkennen geben wird, so dass vielleicht der wärmere Theil von Nord-Amerika zum dereinstigen Stützpunkte der Macht und Cultur unseres Geschlechtes bestimmt ist.

Sey dem aber wie ihm wolle, so lässt sich mindestens für die nächstkommenden Jahrtausende keine Temperatur-Verminderung der Erdoberfläche, durch Abkühlen der inneren Erdmasse herbeigeführt, voraussehen, wie denn auch in der Vergangenheit, soweit geschichtliche Urkunden zurückreichen, in den climatischen Verhältnissen der Länder, in der Temperatur der Thermen, in der Stärke und Häufigkeit der vulkanischen Actionen und der Erdbeben sich nichts wesentlich geändert hat.

Anders verhält es sich mit den sog. vorweltlichen Zeiten, aus denen uns zahlreiche Beweise hinterblieben sind, dass während langer Jahrhunderte der Erdboden durch unterirdisches Feuer erwärmt einem Treibhause geglichen habe, wo in den jetzt ganz unwirthlich gewordenen Polarländern riesengrosse pflanzenfressende Thiere ihre Nahrung suchten und fanden, und baumartige Farnkräuter und tropische Schaalthiere, deren Ueberreste uns namentlich in den Steinkohlenlagern aufbewahrt sind, aller Orten zu Hause waren.